

THESES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ
DE DIJON

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE DIJON

(MENTIONS SCIENCES)

PAR

LUCIEN THÉRON

DIPLOMÉ DE L'ÉCOLE COLONIALE D'AGRICULTURE DE TUNIS

Chimiste-Agronome

à la Station d'Agronomie et de Pathologie végétale d'Avignon

(MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE)

-
- 1^{re} THESE.** - CONTRIBUTION A L'ÉTUDE AGRONOMIQUE DU MANGANÈSE
SON INFLUENCE SUR L'ASSIMILATION AZOTÉE DES VÉGÉTAUX
- 2^e THESE.** - PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Soutenues le 1935 devant la Commission d'examen

MM. MEYER *Président.*

VOISENET ... {
HAGENE { *Examineurs.*

GAP

Imprimerie LOUIS JEAN,
6, avenue de Provence, 6

—
1935



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548205_0017

THESES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ
DE DIJON

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE DIJON

(MENTIONS SCIENCES)

PAR

LUCIEN THÉROND

DIPLOMÉ DE L'ÉCOLE COLONIALE D'AGRICULTURE DE TUNIS

Chimiste-Agronome

à la Station d'Agronomie et de Pathologie végétale d'Avignon

(MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE)

1^{re} THESE. - CONTRIBUTION A L'ÉTUDE AGRONOMIQUE DU MANGANÈSE
SON INFLUENCE SUR L'ASSIMILATION AZOTÉE DES VÉGÉTAUX

2^e THESE. - PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Soutenues le 1935 devant la Commission d'examen

MM. MEYER *Président.*

VOISENET ... {
HAGENE { *Examineurs.*

GAP

Imprimerie LOUIS JEAN,
6, avenue de Provence, 6

1935

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE DIJON

MM. BUGNON, Doyen, LAGRANGE, Assesseur
MM. BATAILLON, PIONCHON, RECOURA, Doyens honoraires
MM. METZNER, PIGEON, TOPSENT, Professeurs honoraires
M. ROY, Maître de conférences honoraire

Professeurs

MM. LAGRANGE	Calcul différentiel et intégral.
GEVREY	Mécanique rationnelle et appliquée.
BOUTARIC	Physique générale.
VOISENET	Chimie générale.
MEYER	Chimie appliquée et Chimie (P. C. B.)
BUGNON	Botanique.
CHAPUT	Géologie, Géographie physique et Minéralogie.
SIMON	Physique (P. C. N.)
PARIS	Zoologie et Physiologie animale.

Maître de conférences adjoint

BELLET Chimie.

Chargés de cours complémentaires

BUGNON	Botanique (P. C. B.)
LAGRANGE	Mathématiques générales.
BOUTARIC	Chimie physique.
SIMON	Physique industrielle.
LEBEL	Mathématiques générales.
DENIS	Zoologie (P. C. B.)
CIRY	Minéralogie.

Chef de travaux

DOLAPHILE Physique.

VIAN, *Secrétaire*

FAUDOT, *Secrétaire-adjoint.*



A la mémoire de mon père

A Monsieur A. DEMOLON,

*Inspecteur général des Stations
Agronomiques et Laboratoires
du Ministère de l'Agriculture.*

A Monsieur le docteur Astier.

A Monsieur Atger,
Préfet d'Alger.

PREMIÈRE THESE

CONTRIBUTION
A L'ÉTUDE AGRONOMIQUE
DU MANGANÈSE

*Son influence sur l'assimilation azotée
des Végétaux*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	15
INTRODUCTION. — Le problème de la nutrition végétale..	17

Constatations expérimentales de l'influence effective du manganèse sur l'assimilation azotée du végétal

CHAPITRE I. — Expériences antérieures	27
Expériences personnelles : <i>Exposé des méthodes employées, de la technique expérimentale et des résultats obtenus</i>	37
Expérimentation en milieux synthétiques : <i>avantages, inconvénients.</i>	
Méthodes de dosage employées (<i>dosages des divers éléments</i>)	39
a) <i>Pour les expériences en milieux artificiels.</i>	
b) <i>Analyse des tissus végétaux.</i>	
I. — Essais en solutions nutritives	41
a) <i>Appareil de culture;</i>	
b) <i>Milieu nutritif, le pH, l'examen des produits, la préparation des solutions. Technique expérimentale et résultats obtenus.</i>	
II. — Essais en sols artificiels; résultats	51
CHAPITRE II. — Expérimentation culturale directe	52
Techniques expérimentales (<i>communes aux expériences de 1930-31-33</i>).	
A) <i>Contrôle d'un accroissement de la matière azotée dans la récolte</i>	53
B) <i>Contrôle de l'élaboration azotée en cours de végétation</i>	53

<i>Exécution</i>	54
I. Expériences en vases de végétation (Dijon)	56
<i>Analyse du sol, engrais employés, doses</i>	57
<i>Observations</i>	58
<i>Résultats obtenus</i> . { 1 ^{re} SÉRIE	59
{ 2 ^e SÉRIE	60
II. Expériences en pleine terre	61
A) ESSAIS DE DIJON.	
1 ^{re} série : <i>Analyse du sol, Détail des essais</i>	62
<i>Résultats obtenus</i>	64
2 ^e Série : <i>Dispositif. Analyse du sol. Détail des</i>	
<i>essais</i>	65
<i>Résultats</i>	66
B) ESSAIS D'AVIGNON (1933).	
<i>Analyse du sol. Dispositif et détail des essais</i>	
<i>pour chaque série</i>	68
<i>Résultats obtenus (Série I et Série II)</i>	69
Interprétation des résultats.	
I. Essais en milieux artificiels	71
II. Expérimentation culturale directe	72
Conclusions générales	77
Remarques annexes	81
Supplément bibliographique	83

AVANT-PROPOS

La question du manganèse en agriculture, qui souleva à la suite des belles recherches de G. Bertrand, un si remarquable engouement parmi les chercheurs de tous pays, et qui est demeurée malgré les preuves nombreuses de l'expérimentation, dans un état d'incertitude et d'indécision assez déplorable, nous avait semblé digne de nouvelles recherches susceptibles d'apporter des éléments nouveaux en ce qui concerne l'action réellement utile de cet élément sur la végétation.

C'est ainsi que mettant à profit les données acquises par tous ceux qui à l'instar de MM. Bertrand et Javillier, dont les noms demeurent attachés à la théorie des actions diastasiques et à l'étude des catalyseurs bio-chimiques chez les végétaux, poursuivirent en dehors des démonstrations de laboratoire l'expérimentation culturale du manganèse, nous avons voulu rechercher l'influence de cet élément sur la nutrition azotée du végétal.

Nous avons pu juger combien était délicate et complexe cette question des infiniments petits chimiques qui fait appel à des théories de la chimie biologique se réduisant souvent à de pures hypothèses.

Les inconnues qui subsistent dans le mécanisme encore si mystérieux de la synthèse organique de la plante, nous ont incité à une prudente réserve et nous nous sommes efforcés de ne point mettre en avant certaines théories très controversées de la biologie végétale (catalyse des actions bio-chimiques, migration et régénération des matières azotées, etc.).

La première partie de notre travail s'effectua à la STATION D'AGRONOMIE DE DIJON où les moyens matériels d'expérimentation se trouvaient être assez réduits.

Cependant, nous y fûmes toujours encouragé et compris par notre bienveillant directeur M. Grandvigne, qui suivit de près nos recherches et facilita notre tâche au point de vue du temps et des moyens matériels.

Nous lui adressons ici bien sincèrement l'expression de notre vive reconnaissance.

Notre changement vers la fin de 1932, pour la STATION D'AGRONOMIE ET DE PATHOLOGIE VÉGÉTALE D'AVIGNON, essentiellement dirigée vers les recherches agronomiques, vint nous apporter des moyens d'action plus convenables, ce qui nous a permis de poursuivre et de compléter plus commodément nos travaux.

Nous avons été très sensible à l'intérêt que notre directeur, M. Bordas, n'a cessé de témoigner à nos recherches et nous lui renouvelons ici l'expression de nos sentiments reconnaissants et dévoués.

Pour les services qu'il nous a si cordialement rendus, nous remercions particulièrement le chef du service de la Documentation, M. Duriau, dont nous avons souvent mis à contribution les ressources bibliothécaires.

Enfin, l'expression de notre gratitude s'adresse à nos chefs supérieurs de notre administration, auprès desquels nous trouvons toujours appui et encouragement, à nos anciens professeurs de L'ECOLE COLONIALE D'AGRICULTURE DE TUNIS, et en terminant nos remerciement vont vers tous ceux, amis et collègues, proches ou lointains, qui nous ont aidé ou encouragé dans notre tâche.

L. T.

INTRODUCTION

LE PROBLEME DE LA NUTRITION VEGETALE

« Les progrès de la chimie biologique sont intimement liés à ceux de la chimie minérale. — Sans la connaissance exacte de la chimie des corps minéraux et des corps organiques, il n'y a pas en effet de découvertes précises à faire dans la chimie autrement délicate des êtres vivants. »

G. BERTRAND

La connaissance de la nutrition végétale nécessite en premier lieu l'étude analytique des substances contenues dans les tissus végétaux.

Depuis les travaux de Th. DE SAUSSURE, les chimistes sont arrivés par la méthode analytique à constater qu'un certain nombre de principes entrent toujours dans la composition de la matière végétale.

Cette façon d'observer la présence et la répartition des divers éléments (macro, micro, ou ultra éléments) (1), si elle a rendu d'énormes services dans l'étude de l'alimentation végétale, s'est par contre révélée absolument insuffisante pour renseigner sur

(1) Cf. A. P. VINOGRADOV : *Chimie géologique de la matière vivante*, Leningrad, 1932, p. 13 et 20.

l'utilité et le rôle physiologique des corps présents dans la plante.

C'est par l'utilisation des milieux synthétiques à composition fixe ou variable selon les méthodes en solutions nutritives de RAULIN, DUHAMEL, SACHS, KNOP, DETNER, etc., ou en sols artificiels (procédés largement utilisés par H. DE SAUSSURE, BOUSSINGAULT, G. VILLE), que la majorité des physiologistes a été amenée à considérer la nécessité réelle d'un certain nombre de principes utilisés par le végétal.

Le rôle d'un élément nutritif étant ainsi établi par le physiologiste, il appartient à l'agronome de rechercher si la présence ou l'introduction de cet élément dans le milieu alimentaire naturel, est susceptible d'améliorer la production végétale. C'est ce qui constitue la méthode dite mixte.

A ce stade, l'étude devient beaucoup plus complexe : la méthode mixte qui associe l'analyse, l'expérience physiologique et culturale (technique utilisée longtemps avant toute autre et constituant la base des essais agronomiques en vases ou au champ), ne permet pas d'obtenir sans une connaissance préalable très approfondie du milieu sol, des indications vraiment précises sur le rôle et la nécessité « agricole » des éléments étudiés.

Le sol contient en effet des éléments dont la multiplicité, l'état physique et la mobilité chimique suffiraient déjà à justifier l'instabilité, et que des phénomènes d'ordre biologique font apparaître comme un milieu vivant, où s'opèrent les transformations si compliquées concourant à assurer la nutrition de la plante.

L'emploi des trois méthodes : analytique, synthétique et mixte alliées à une profonde connaissance du sol apparaît donc nécessaire pour éclairer le problème de la nutrition végétale.

Ce travail exige l'étroite collaboration du chimiste et du physiologiste qui en agronomie, se suivent pas à pas, s'observent, et se rejoignent dès qu'un fait nouveau surgit dans le domaine encore si mystérieux de l'alimentation des plantes.

C'est ainsi que le chimiste ayant pu déterminer dans le

végétal, à côté des éléments y existant à doses massives — « éléments plastiques ou d'organisation » —, d'autres éléments intervenant à l'état de traces — « éléments olygodynamiques ou accessoires » —, il fallut les secours relativement récents de la physiologie pour mettre en relief le rôle extrêmement important de ces corps considérés longtemps comme accidentels et qu'on supposait être absorbés passivement par la plante.

Dans les expériences en solutions nutritives, quelques chercheurs (SALM HORTSMAR, RAULIN...) avaient pourtant remarqué depuis longtemps l'action favorable, à des doses infinitésimales de certaines substances, mais aucune vérification n'était venue mettre en valeur leurs observations.

C'est seulement à la suite des révélations apportées par G. BERTRAND sur le rôle du manganèse dans les actions oxydasi-ques des végétaux, que les éléments rares, décélés par l'analyse, prirent l'importance qui devait donner à la chimie biologique sa nouvelle orientation.

En effet, G. BERTRAND arriva à confirmer la valeur fonctionnelle du manganèse par la méthode synthétique, en travaillant avec certaines solutions absolument exemptes de traces de ce métal, précautions expérimentales non observées lors de recherches antérieures par des auteurs tels que SACHS (1860), RAULIN (1870), etc., ce qui permet d'expliquer leurs insuccès dans l'étude du rôle biologique du manganèse.

La méthode synthétique reprenant dès lors toute son autorité permit aux chercheurs d'obtenir des résultats démonstratifs sur l'action physiologique d'autres éléments rencontrés dans les plantes à doses infimes.

C'est ainsi que fut mise en relief l'action du bore (BERTRAND et AGULHON), que le zinc (JAVILLIER), l'aluminium (STOKLASA) se sont révélés aussi des éléments biogènes, que le fluor (A. GAUTHIER et CLAUSMANN), l'iode (ASO, ZUZUKI), ont été reconnus comme participant aux fonctions vitales du végétal.

Les recherches expérimentales de MAZE (1919), sur l'aliment complet idéal d'une plante cultivée en solution nutritive (maïs) ont montré le bien-fondé des résultats obtenus isolément pour chacun des éléments rares que nous venons de citer.

L'avenir permettra seul de savoir si de nombreux autres corps tels que : le brome, le rubidium, le coesium, le cobalt, le strontium, le lithium, le vanadium, le cuivre, le nickel, le cérium, l'argent, le cadmium, etc., qui ont été décelés dans diverses espèces végétales au moyen de l'analyse spectrale ou de méthodes chimiques extrêmement sensibles, sont susceptibles de jouer un rôle quelconque dans la physiologie de la plante.

Après les démonstrations des physiologistes concernant l'utilité de certains éléments rares auxquels G. BERTRAND donna le nom aussi caractéristique qu'élégant d' « infiniment petits chimiques » il appartenait à la méthode mixte de confirmer en milieu naturel la valeur de ces substances, révélée par les milieux synthétiques.

Le manganèse, le premier en date de ce groupe d'éléments fut très vite remarqué par son action stimulante sur la végétation.

Le fait que le caractère catalytique du rôle que joue cet infiniment petit chimique dans les fonctions oxydasiques du végétal s'observe aussi dans les phénomènes bio-chimiques du sol où il détermine des effets hors de proportion avec les doses sous lesquelles il intervient, suggéra aux agronomes de nouvelles hypothèses — dont certaines sont déjà confirmées — pour l'explication de processus demeurés jusqu'alors inexpliqués dans la Science du sol.

En effet, bien que la théorie bio-chimique moderne, nous ait amenés à considérer ce dernier comme un véritable laboratoire où interviennent des phénomènes physiques, chimiques et biologiques (dynamique du sol) elle ne nous fournit pas d'explications suffisantes en ce qui concerne l'intensité et la vitesse surprenantes des réactions et des échanges s'opérant dans la terre arable en continuelle évolution.

S'il est vrai qu'en dehors des systèmes métaphysiques anciens (énergie vitale) ou modernes (dynamisme, monisme...) auxquels malgré leur indéniable attrait, il serait vain de s'attarder ici, l'étude de certains phénomènes physico-chimiques soit à même de nous donner, non pas une explication définitive du chimisme

de la matière ou des actions biologiques, mais une idée plus précise de leur prodigieux mécanisme, les théories catalytiques doivent parmi ces phénomènes prendre une place importante.

Il est aujourd'hui admis que la plupart, — pour ne pas dire toutes — des réactions ont besoin de catalyseurs pour se produire; les actions vitales elles-mêmes sont subordonnées à la présence et à la qualité de ces derniers. Les diastases, agents si actifs des transformations cellulaires décomposant des matériaux nutritifs complexes en substances simples, et par une opération inverse, refaisant en une merveilleuse synthèse, de la matière vivante, sont désormais considérées comme des catalyseurs naturels alors que les catalyseurs ordinaires peuvent se comporter comme des diastases artificielles...

L'étude du manganèse au moyen de la méthode mixte fit donc également intervenir dans le sol sous l'espèce des infiniments petits chimiques, cette notion de la catalyse déjà mise en relief dans la physiologie de la plante.

C'est ainsi que naquit en agronomie cette théorie des actions catalytiques qui démontre une fois de plus que « *la Chimie de la plante est inséparable de la Chimie du sol* ».

L'ardent promoteur de cette théorie fut le savant chimiste et biologiste français, G. BERTRAND, qui désigna en bloc sous le nom « d'éléments catalytiques », toutes les substances qui manifestant la même faculté de stimulation végétative que le manganèse, devaient « à priori » jouer un rôle analogue à ce dernier.

Il importe cependant de faire remarquer que si la plupart de ces éléments rares peuvent être regardés comme des excitants de la végétation (terme sous lequel ils sont d'ailleurs, en général, désignés à l'étranger), il semble prématuré de les assimiler à un infiniment petit chimique comme le manganèse dont l'action particulière sur les fonctions biologiques du végétal a pu être aussi nettement mise en lumière.

Lors même que certaines de ces substances dites catalytiques se soient montrées absolument nécessaires à l'évolution de la plante, qui en renferme toujours des traces, et que des possi-

bilités de suppléance de manganèse aient même été envisagées dans les phénomènes vitaux de la plante (2), il n'en demeure pas moins que ce dernier élément est le seul qui possède un rôle aussi caractérisé en physiologie végétale et qui dans l'expérimentation culturale ait fourni des résultats aussi significatifs.

Longtemps contesté, sinon nié, avant les recherches de GRIFFITHS (1892) et surtout les révélations de G. BERTRAND (1894-1897) sur les actions oxydasiques, le rôle du manganèse s'est vu en effet confirmé par un grand nombre d'expérimentateurs français tels que PORTIER, GRANDEAU, PICHARD, TRILLAT, ROBIN, etc., et par beaucoup de chercheurs de différents pays parmi lesquels le Japon semble venir en tête.

Tous les auteurs s'accordent désormais pour considérer le manganèse comme indispensable à la biotique des êtres.

Veut-on supprimer ce métal de l'alimentation d'une jeune pousse de maïs, cette plante ne tarde pas à dépérir, avec un étiolement des feuilles caractéristique d'une carence alimentaire (MAZE).

Toujours plus abondant dans les parties de la plante où l'activité vitale et la formation synthétique des réserves nutritives sont les plus marquées (graines, bourgeons, nervures des feuilles), (3) « *l'importance vitale de cet élément rare chez les végétaux ne saurait plus être discutée* » (Thèse GARNIER, Nancy, 1928).

Ne voulant point faire après d'autres, l'apologie détaillée de cet infiniment petit chimique qui après les démonstrations du laboratoire vit l'utilité de son rôle confirmé par l'expérimentation culturale, nous nous bornerons à dire que dans ce domaine de la méthode mixte, l'action heureuse du manganèse a été largement démontrée et s'est montrée positive dans la grosse majorité des cas.

« De toutes les expériences conduites avec méthode et pré-

(2) Le cérium et le lanthane pourraient le remplacer (A. Job). De même le fer (d'après Wolff).

(3) D'après Maumené, les nervures du chou et le tissu foliacé qu'elles soutiennent offrent des différences incroyables dans leurs teneurs en Mn.

cision, dans tous les pays, et portant sur toutes les espèces de végétaux, se dégage la conclusion que le manganèse a une action favorable sur leur développement, sur les récoltes et sur les produits récoltés (A. OLARU, Thèse, 1920).

Et pourtant si la valeur du manganèse en agriculture apparaît incontestable, s'il est le premier de la série des infiniment petits chimiques à posséder des titres de « créance » aussi honorables vis à vis de l'agronomie, il faut malheureusement constater que son utilisation pratique est loin de s'être affirmée et propagée comme on était en droit de l'espérer.

Les inconnues qui subsistent sur le mode d'action de cet élément dans les sols, ne sauraient être autrement résolues que par les recherches de laboratoire et l'expérimentation systématique.

Ainsi que le dit si bien M. LENGLEN, spécialiste aussi avisé que circonspect en matière de vulgarisation d'engrais, *« c'est à la Science seule, qu'il appartient de trancher définitivement cette question de la possibilité de l'emploi des produits catalytiques en agriculture »*.

« Si la théorie des engrais catalytiques est essentiellement féconde, elle ne saurait avoir la prétention de renfermer toute la vérité et de n'être pas sujette à révision » (JAVILLIER).

En réalité la question des catalyseurs, qui sous bien des rapports demeure un des problèmes les plus délicats de la Science moderne, ne fait que connaître en agronomie, les difficultés qu'ont rencontrées les théories et doctrines antérieures dans ce domaine. Venue se greffer sur la théorie bio-chimique, celle des éléments catalytiques est pleine de promesses mais elle est liée aux disciplines scientifiques qui l'ont fait naître, à savoir : la chimie et la biologie, et c'est à ces dernières qu'il appartient de lui apporter la consécration qu'elle ne possède pas définitivement dans la science agronomique.

Dans le présent mémoire que nous présentons sur le manganèse la chimie analytique et la physiologie végétale se partagent nos travaux de recherches.

Le but principal de ces dernières était de démontrer par des

contrôles judicieux, l'influence du manganèse sur l'assimilation de l'azote (azote naturel du sol et azote d'engrais chimiques).

Parmi les substances nutritives nécessaires à la plante, l'élément azote en raison de son importance primordiale dans la production végétale s'imposait en effet particulièrement à notre attention.

Constituant élémentaire de la matière vivante, l'azote est sous forme d'engrais d'une utilisation générale et constitue dans la pratique la base des rendements rémunérateurs.

Le passage suivant, extrait d'un rapport de M. A. DEMOLON, « sur les bases expérimentales de la fumure azotée » apportant les conclusions fondées sur des expériences poursuivies dans les Stations Agronomiques, est particulièrement significatif à une époque déjà si éloignée de celle du début de l'emploi des engrais chimiques azotés :

« Les expériences dans lesquelles les engrais azotés n'ont pas donné d'excédents significatifs de récolte, constituent de très rares exceptions. En pratique, sous notre climat, toutes les cultures sont susceptibles de bénéficier d'un apport d'azote, variable avec la fertilité du sol et les assolements, sous réserve que les autres facteurs de la production ne viennent pas limiter les rendements. L'azote apparaît comme le principal facteur de l'augmentation quantitative de la production.

« Même lorsque l'analyse décèle des réserves azotées correspondant à des sols riches (1,5 à 2,5 %), il est établi que *l'évolution biologique de ces réserves est toujours trop lente pour subvenir aux besoins de fortes récoltes*. Le sol demeurant cependant la source la plus importante de l'azote absorbé par les récoltes, on peut affirmer que dans la culture industrielle, l'apport d'engrais azotés est la condition nécessaire du maintien des hauts rendements obtenus ».

Les recherches agronomiques ont montré que ce n'est pas tant le stock total de matières nutritives du sol qui importe pour la production, mais une partie seulement, qui se trouve être à l'état assimilable par les plantes. L'évolution des composés de l'azote des sols, est, nous le savons, largement subor-

donnée aux conditions biologiques de ce dernier. (On a même pu entrevoir la possibilité d'une détermination de l'état de productivité d'un sol d'après son activité biologique).

En somme l'utilisation par les plantes des réserves azotées des sols apparaît sous la dépendance des facteurs favorisant cette activité. Pour que celle-ci se manifeste d'une façon optima, le concours des actions oxydantes est absolument nécessaire. La vitesse d'oxydation peut dans les sols fournir une mesure de l'activité des microorganismes. L'utilisation de l'azote des engrais incorporés au sol est subordonnée aux mêmes conditions : *Ce n'est pas tant la quantité d'élément azoté qui souvent détermine les belles récoltes, mais plus sûrement le parti que permettent aux plantes d'en tirer, les conditions biochimiques du sol et l'activité physiologique de la plante.*

L'action favorable qu'exerce le manganèse dans les transformations de la matière azotée des sols (processus d'oxydation par voie chimique et microbienne), l'influence qu'il paraît aussi exercer sur l'évolution de cet élément dans les tissus de la plante, en accélérant les actions enzymatiques qui concourent à l'élaboration des protéines, vient justifier l'intérêt d'une recherche spéciale d'un accroissement de l'assimilation azotée déterminé par cet infiniment petit chimique.

Le but de nos recherches demeure donc dans le cadre agronomique que nous nous sommes assigné et vise manifestement à des conclusions d'ordre pratique.

A ce point de vue il paraît correspondre assez étroitement aux directives données depuis longtemps par le Ministère de l'Agriculture à ses Stations Agronomiques.

Le passage suivant, extrait des comptes-rendus d'une séance du Comité Consultatif des Stations, tenue à Paris en 1913, et relative à l'expérimentation des engrais catalytiques (rapporteur : M. MAQUENNE) est à cet égard particulièrement significatif :

« Depuis plusieurs années déjà, on signale comme susceptible d'agir efficacement sur le développement des plantes un certain nombre de substances, dites « catalytiques » dont le

caractère essentiel est de produire leur effet à doses extrêmement faibles. En première ligne se trouvent les sels de manganèse et la question se pose de savoir s'il est avantageux d'introduire cet élément dans les mélanges employés comme matière fertilisante, et dans quel cas le résultat expérimental est régulier ou non et si cette introduction de sels solubles *devient rémunératrice*: la question est importante, et cependant on ne possède à cet égard aucune donnée précise ».

Depuis cette époque, déjà assez éloignée, peu de travaux, en France notamment, ont été effectués dans ce sens d'une façon bien objective. Sur ce sujet nous revenons plus loin en exposant nos expériences personnelles.

La présentation de ce modeste mémoire est donc de nature à nous apporter, outre la satisfaction de le voir sanctionné par l'Université, celle non moins grande d'avoir pu contribuer dans la mesure de nos moyens à l'étude agronomique du manganèse et à ses applications pratiques, et par conséquent d'avoir travaillé conformément aux conceptions de l'Institut des Recherches Agronomiques.

LUCIEN THÉRON.

Avignon le 19 juin 1934

« Both the toxic and stimulating action of Mn render it an element of considerable importance from the economic point of view, and the activity of research on the subject is leading to valuable results in the improvement of the growth of certain crops. »

Dr BRENCHELEY.

CONSTATATIONS EXPERIMENTALES DE L'INFLUENCE EFFECTIVE DU MANGANESE SUR L'ASSIMILATION AZOTEE

L'intervention du manganèse dans les phénomènes essentiels qui concourent soit dans le sol, soit dans la plante, au métabolisme de l'azote a été mise en évidence par de nombreux auteurs.

De l'examen de leurs travaux, il ressort logiquement que pour le chimiste biologiste une recherche intéressante s'impose: celle de l'influence réelle du manganèse sur l'assimilation azotée, influence que seule une vérification expérimentale peut révéler.

C'est à quoi tendent objectivement nos expériences personnelles.

Avant d'en aborder l'exposé, nous examinerons les principaux travaux qui ont été effectués dans le même sens, ou qui présentent avec le caractère de nos essais, une certaine analogie.

EXPERIENCES ANTERIEURES

Au cours d'expériences en milieux liquides sur des végétaux inférieurs, différents auteurs (BERTRAND, JAVILLIER, STOKLASA) avaient déjà pu constater que le manganèse exerçait non seu-

lement une action très favorable sur le développement de ces organismes, mais provoquait un accroissement de l'assimilation des substances minérales introduites (1). Une action cumulative — des éléments catalytiques — (Zinc et manganèse) — fut en outre observée sur la fixation des principes nutritifs.

Chez les végétaux supérieurs l'influence heureuse du manganèse sur l'assimilation des éléments minéraux fut aussi démontrée par des essais en milieux artificiels et en sols naturels.

En 1905, G. BERTRAND et THOMASSIN (2) entreprirent des essais de grande culture sur l'avoine, en terrain argileux, faiblement calcaire contenant 0,024 % de Mn soluble dans l'ac. acétique bouillant au $\frac{1}{100}$ et 0,033 % de Mn soluble dans Hcl concentré et chaud.

Outre des excédents remarquables de matière récoltée sur parcelles manganésées, ces expérimentateurs constatèrent à l'analyse une augmentation sensible du taux des cendres dans les grains provenant de ces parcelles, mais n'observèrent cependant aucune influence sur la teneur des grains en azote qui parut être même légèrement affaiblie par rapport aux témoins.

PASSERINI (3) constata dans des essais du même genre une influence favorable du manganèse sur l'assimilation des plantes.

PERROTI (4) classe le manganèse parmi les éléments les plus favorables aux cultures en vases de végétation, augmentant à la fois le poids total des récoltes et la richesse en azote.

En 1907, GAROLA (5) fit à Chartres des expériences avec le

(1) BERTRAND et JAVILLIER, C. R. Ac. Sc. t. 152, p. 225, 1911 et STOKLASA, C. R. Ac. Sc. t., 152, p. 1340, 1911.

(2) G. BERTRAND et THOMASSIN, *Sur l'emploi favorable du Mn comme engrais*, C. R. Ac. Sc. T., 141, p. 1255, 1905.

(3) PASSERINI, *Exp. avec Mn*, Boll. Inst. agr. Scandici (2) t. 6, p. 1, 14 (1905) cité par A. D. OLARU.

(4) PERROTI R., cité par Boulanger, Bull Inst. Pasteur, t. 6, pp. 1, 49, 97 (1908).

(5) GAROLA, *Rapport sur les champs d'expér. d'Eure-et-Loir* (1907).

manganèse qui lui fournirent des résultats remarquables au double point de vue des rendements et de l'augmentation des substances élaborées dans le végétal. Ce savant directeur de station agronomique trouva sur betteraves avec une élévation de la teneur en sucre (6) une augmentation de la matière azotée.

Dans son étude sur « les engrais manganés » ROUSSET (7) estime que le manganèse exerce une action nettement stimulante sur l'assimilation des différents éléments.

Cet auteur cite particulièrement les essais entrepris sur le lin par GAROLA où l'analyse comparative des différentes parties de la plante soumise ou non à l'action d'engrais manganésés, permit de mettre en évidence, ainsi que le montre le tableau ci-dessous, l'influence du manganèse sur l'assimilation des éléments fertilisants : azote, acide phosphorique et potasse :

(6) En ce qui concerne l'accroissement de la richesse en saccharose des betteraves, le manganès semble d'ailleurs avoir une influence remarquable: Expériences de GRÉGOIRE, HENDRICK et CORPIAUX (1907), de STOKLASA (1906), de DUSSEY (1913) (expériences poursuivies pendant 6 ans), SCHULZE (1915), ULRICH (1917), GREISENEGOER (1917), etc...

(7) ROUSSET H. *Sur les engrais manganés*. Ann. Sc. Agr. n° 3, p. 81, 1909.

COMPOSITION RAMENÉE DE LA MATIÈRE SÈCHE A LA
MATIÈRE NORMALE DES DIFFÉRENTES PARTIES DE LA PLANTE

TENEUR en Mgr	PARCELLE TEMOIN				PARCELLE MANGANESEE			
	Capsules	Part. aérienne	Racines	TOTAL	Capsules	Part. aérienne	Racines	TOTAL
Azote	0.895	5.00	0.343	6.238	1.69	6.55	0.438	8.678
P ₂ O ₅	0.337	1.24	0.101	1.678	0.642	1.55	0.145	2.337
K ₂ O	0.599	7.00	0.158	7.757	1.05	7.91	0.365	9.325
CaO	0.245	5.41	0.535	6.190	0.436	6.70	1.407	8.543
Mn	0.0157	0.0148	0.0153	0.178	0.0245	0.158	0.0433	0.2258
Mat. sèche	21.3	213.0	21.3	255.6	39.6	242.6	52.1	334.3

Comme on le voit l'assimilation azotée fut particulièrement influencée par l'adjonction de manganèse sous forme de sulfate.

BRIOX (7) dans le but de contrôler les résultats obtenus par divers expérimentateurs, organisa à la Station Agronomique de Rouen, une série d'essais en vases de végétation et en pleine terre portant sur le lin, la moutarde blanche, le sarrazin, la vesce de printemps, le colza et la betterave fourragère. L'éminent agronome enregistra de notables excédents de production sur parcelles manganésées et il conclut de l'ensemble de ses essais que le manganèse dont l'action sur la végétation est réelle, agit à la façon d'un stimulant qui favorise la formation des réserves alimentaires.

Des analyses effectuées sur les récoltes de betteraves, démontrèrent un accroissement très net de la teneur en matières azotées chez les sujets traités au sulfate de manganèse.

TENEURS CENTÉSIMALES

	Témoins	Essais avec So^4Mn
Matières minérales	0.82	0.94
— azotées	0.77	0.85

En Allemagne PEIFFER et BLANCK (8) dans une série d'expériences en vases et au champ constatèrent par l'analyse des récoltes une légère augmentation dans l'assimilation des matières nutritives du sol.

En 1911, ces auteurs firent des essais sur betteraves fourragères qui leur permirent de mettre encore en évidence l'action favorable du manganèse sur la récolte, ainsi que sur l'assimilation azotée.

(7) BRIOX Ch., *Emploi des Sels de Manganèse en Agric.*, Bull. Soc. Centr. d'agric., premier trimestre 1910.

(8) PEIFFER et BLANCK, Landw. Vers. St. 77, p. 33, réf. A. D. OLARU.

En Allemagne également, ULRICH (9) effectua des expériences sur betteraves à sucre dont les résultats démontrèrent une influence nettement positive du manganèse sur la nutrition azotée des végétaux.

Le champ d'expériences ne reçut d'abord aucune fumure : il fut divisé en 4 parcelles, qui reçurent ensuite la fumure suivante à l'hectare :

Parcelle 1	150 kilos de sulfate de manganèse.
Parcelle 2	200 — de — d'alumine
Parcelle 3	150 kilos de peroxyde de manganèse.
Parcelle 4	48 kilos de phosphate.
Parcelle 5	sans fumure.

Les graines de betteraves de la sorte « Kleinwanzlebener original » furent semées le 28 avril 1914 et levèrent le 6 mai suivant.

Parmi les observations faites par l'auteur pendant la période de végétation, il est à noter un certain retard de la maturité pour les parcelles traitées avec les différentes formes de manganèse (10).

A part la parcelle 3 (phosphate de manganèse) qui parut intoxiquée, les rendements des parcelles manganésées furent supérieurs à ceux des témoins et l'analyse chimique des racines et des feuilles de betterave révéla une augmentation des teneurs en azote due aux divers sels de manganèse, notamment au sulfate associé à l'alumine.

Les résultats relatifs à cette influence sont reproduits dans le tableau ci-après :

(9) ULRICH K, *Influence du Mn sur la teneur en N des betteraves à sucre* : Blatter F., Ruberbau, n° 3, p. 31, Berlin, fév. 1917.

(10) Retard certainement imputable à l'énormité des doses appliquées.

ANALYSE CHIMIQUE CENTESIMALE DES RACINES ET DES FEUILLES
(Dosage des cendres et des mat. azotées)

PARCELLES ET FUMURE	CENDRES		AZOTE TOTAL		PROTEINE		N AMMONIACAL ET AMIDES	
	Racines	Feuilles	Racines	Feuilles	Racines	Feuilles	Racines	Feuilles
1) Sulfate de Mn + sulfate d'alumine.	0.737	2.28	0.175	0.205	0.080	0.105	0.019	0.015
2) Peroxyde de Mn.	0.711	2.23	0.151	0.206	0.070	0.115	0.020	0.012
3) Phosphate de Mn.	0.712	2.34	0.174	0.182	0.078	0.110	0.017	0.09
4) Sans fumure ...	0.666	2.47	0.161	0.172	0.076	0.103	0.012	0.007

Malgré les fortes doses de sulfate de manganèse administrées à l'ha. (150 kg.) ce sel associé au sulfate d'alumine, ne s'est pas montré toxique et a eu une action très nette sur l'assimilation azotée en augmentant notablement l'azote total, l'azote ammoniacal et les amides, ces dernières se trouvant surtout influencées, alors que l'azote protéique le fût très peu.

Les travaux de Mac HARGUE (U. S. A.) qui font ressortir le rôle important que joue le manganèse dans le développement et la fonction de la chlorophylle, tendent à démontrer que cet élément concourt à stimuler les diastases, notamment celles qui décomposent les substances azotées sous forme d'amides et les rendent plus promptement assimilables pendant la première période du développement des jeunes plantes.

En cultures aqueuses, le manganèse en dilution convenable stimula le développement du blé et augmenta la teneur des grains en azote. Au cours d'une étude plus récente (1932) ce même auteur estime que le manganèse joue un rôle important dans la synthèse des protéines.

Les expériences toutes récentes de BRIOUX et JOUIS (11) qui viennent confirmer nos expériences personnelles (1930-1931-1933) (12) démontrent nettement l'action favorisante du manganèse sur l'assimilation azotée (analyse des récoltes) de diverses plantes de grande culture.

Ces auteurs ont en outre constaté les heureux effets d'une action cumulative des trois éléments catalytiques suivants : manganèse, bore et cuivre.

Les essais préliminaires en vase de végétation portèrent sur le sarrazin, avec terre de limon des plateaux, additionnée d'un peu de terre sableuse.

Le sulfate de manganèse fut introduit à la dose de 0 gr. 060 par vase (correspondant à environ 20 kg. par Ha).

(11) BRIOUX et JOUIS Edg., C. R. Ac. Agr., 21 février 1934.

(12) Cf. THÉRON, *Rapport Ann. de l'institut des Rech. Agron.*, pp. 196-200, 1931.

Les résultats obtenus furent les suivants :

	Matière sèche récoltée	Indices de comparaison	Azote % de matière sèche	Azote total absorbé	Acide phosphor. %	P2O5 total absorbé
	gr.			gr.		gr.
Avec engrais complet seul	43,20	100,0	2,24	0,967	1,86	0,803
Avec engrais plus manganèse	44,50	103,0	2,31	1,027	1,98	0,881
Avec engrais plus manganèse et bore.	44,55	103,1	2,31	1,029	2,01	0,895
Avec plus manga- nèse, bore et cuivre	45,00	104,2	2,39	1,075	2,08	0,936

Ainsi en dehors d'une élévation de la matière sèche, le manganèse paraît surtout avoir favorisé l'assimilation de l'azote, cette assimilation ayant été plus particulièrement accrue en présence des trois catalyseurs réunis.

Des essais en plein champ furent organisés par les auteurs à la ferme de l'Ecole d'Agriculture d'Yvetot; le sol des champs d'expérience (limon des plateaux) était d'une richesse moyenne en azote, mais manquait un peu d'acide phosphorique et de potasse assimilables; la teneur en manganèse soluble était de 0,16 %.

En plus d'une fumure au fumier de ferme les parcelles d'expériences reçurent un engrais complet auquel on ajouta, sauf pour les témoins :

Sulfate de Mn	15 kilog. à l'ha.
Borate de Sodium	10 — à —
Sulfate de Cuivre	10 — à —

A la récolte l'analyse chimique des tubercules de pommes de terre donna les résultats suivants :

	PARCELLES TÉMOINS			PARCELLES AVEC CATALYSEURS		
	Matière sèche %	Azote % de matière sèche	P ₂ O ₅ % de matière sèche	Matière sèche %	Azote % de matière sèche	P ₂ O ₅ % de matière sèche
1 ^{re} série	19,39	1,72	0,520	20,15	1,62	0,497
2 ^e série	19,40	1,66	0,481	20,55	1,70	0,475
3 ^e série	19,20	1,62	0,505	20,00	1,79	0,544
Moyennes	19,33	1,67	0,502	20,23	1,70	0,505
Matière sèche par hectare :				S.171 kgr.		
				S.365 kgr.		

Bien qu'il ne soit pas possible de dégager l'action particulière du manganèse, son influence cumulée avec celle du bore et du cuivre sur l'assimilation de l'azote est encore ici mise en évidence.

L'emploi de très faibles quantités de catalyseurs (ce qui présente un gros intérêt pratique) rendait très caractéristiques les expériences ci-dessus.



EXPÉRIENCES PERSONNELLES

EXPOSE DES METHODES EMPLOYEES, DE LA TECHNIQUE EXPERIMENTALE ET DES RESULTATS OBTENUS

Nous avons voulu constater l'accroissement d'assimilation (absorption et élaboration) de l'azote provenant soit des réserves naturelles du sol, soit d'engrais azotés apportés à ce dernier.

Désireux surtout de donner aux résultats obtenus une valeur interprétative convenable, nous avons confié nos essais à plusieurs modes d'expérimentation; d'autre part une technique a été utilisée pour la constatation d'un accroissement d'assimilation azotée.

En égard aux possibilités de critique quant à la comparaison de résultats fournis par certaines méthodes avec ceux obtenus par d'autres nous avons classé nos expériences en deux catégories distinctes :

- | | |
|---|--|
| 1° — Expérimentation en milieux synthétiques. | Essais en solutions nutritives.
Essais en sols artificiels. |
| 2° — Expérimentation culturale. | Essais en vases de végétation.
Essais au champ et en serre. |

Expérimentation en milieux synthétiques

Remarques générales. — Dans toute recherche précise ayant trait à la nutrition végétale, le bio-chimiste est amené à effec-

tuer des essais en milieux synthétiques; ceux-ci consistent à amener une plantule à se développer non plus dans son milieu naturel, mais dans un milieu artificiel formé de toutes pièces à l'aide des principes chimiques dont les physiologistes ont établi la nécessité pour la plante ou l'action favorisante.

Les méthodes synthétiques sont nécessaires pour corriger ce que les méthodes analytiques peuvent avoir de trop absolu.

Le milieu de culture peut être liquide et contenir en dissolution les éléments mis à la disposition de la plante (solutions nutritives) ou bien solide et dans lequel on incorpore après humectation les sels désirables (sols artificiels).

Dans le but de nous justifier de certaines critiques à l'égard de l'emploi de ce mode expérimental, nous croyons utile de souligner sommairement ses avantages et ses inconvénients.

Avantages. — La grande maniabilité du milieu utilisé rend ces méthodes très commodes; la composition chimique peut être contrôlée d'une façon très précise et l'addition ou la soustraction de tel élément doit déterminer un effet facilement saisissable dans la physiologie de la plante.

Inconvénients. — La plante se trouve placée dans des conditions peu comparables à celles du milieu naturel; notons brièvement les différences suivantes :

Physiquement, le milieu synthétique est essentiellement homogène et continu, alors que le sol naturel est de nature hétérogène et discontinu (1).

Chimiquement, la concentration saline plus élevée en milieu artificiel peut entraver le développement de certaines plantes (2); les variations de concentration peuvent aussi plus qu'en milieu naturel déséquilibrer les échanges osmotiques et nuire aux essais (le renouvellement du milieu s'impose donc).

(1) A. DEMOLON et F. BARBIER, *Ann. Sc. Agron.* n° 4, p. 531, 535, 1931.

(2) D'après M. LEVIS (thèse doct. Sc., Paris, 1925) la marge cependant paraît large: Cet auteur a pu cultiver pois et sarrasins dans les milieux hypersulfatés renfermant 12 % de sel (loin du 5 % max. indiqué par les physiologistes).

Enfin les réactions du sol naturel (influence des complexes colloïdaux, etc.) n'ont pas lieu en milieu artificiel.

Biologiquement, en ce dernier milieu l'activité microbienne des sols naturels ne peut utilement se produire.

D'autre part, si le « pH » des sols est en général assez constant, celui des milieux artificiels — tout au moins en solutions nutritives — subit des fluctuations susceptibles d'entraîner parfois un mauvais développement des plantes (3).

En somme, on ne saurait retrouver en milieu synthétique les caractéristiques qui constituent la « dynamique » du sol.

Méthodes de dosages employées

Dosage des éléments fertilisants : azote, acide phosphorique, potasse, chaux, et des constituants physiques : argile, sable, limon, humus, d'après les méthodes officielles d'analyses des Stations et Laboratoires agronomiques.

Dosage des différentes formes de manganèse : d'après G. BERTRAND (4). En ce qui concerne le manganèse soluble dans les acides faibles, nous avons utilisé en premier lieu, selon BERTRAND, l'acide acétique étendu (au $\frac{1}{100}$) puis dans les analyses ultérieures la solubilité citrique (acide citrique à 2 %) car ce dernier réactif a souvent été utilisé pour la détermination des autres éléments fertilisants du sol dits « assimilables » et que d'après A. DEMOLON (5) il constitue un meilleur dissolvant du manganèse que l'acide acétique de même concentration.

a) *Pour les expériences en milieux artificiels*, les dosages d'azote total ont été faits sur la totalité des liquides ou des

(3) Cf. : *Nutrition artificielle des plantes cultivées* par Ch. ZINZADZÉ, Ann. Sc. Agron. n° 6, 1932 et n° 1, 1933.

(4) G. BERTRAND : *Sur le dosage des différentes formes du manganèse contenues dans la terre arable*, Ann. Sc. Agron., n° 5, p. 305, 1924.

(5) A. DEMOLON : *Guide pour l'étude expérimentale du sol*, Gauthier-Villars Edit., Paris, 1933, p. 194.

(6) Cf. Rev. de Chim. Analyt., p. 371, 1909.

sols provenant de chaque essai; après réduction préalable des nitrates au moyen du procédé de SALLE (6) dans lequel l'hydrogène réducteur est produit par l'action du zinc et du sulfate ferreux sur la soude, on a dosé l'azote ammoniacal par distillation dans l'appareil SCHLOESING-AUBIN en recueillant l'ammoniaque dans l'acide sulfurique $\frac{N}{20}$.

Pour le titrage on s'est servi d'une solution de potasse de même titre avec le rouge de méthyle comme indicateur, qui a l'avantage de donner un changement très vif de couleur.

Les réactifs employés avaient été préalablement examinés au point de vue de leur teneur en azote par un essai à blanc.

b) *Analyse des tissus végétaux.* — Dans les expériences en sols naturels, on a eu à doser les matières azotées des organes végétaux sous la forme d'azote total, d'azote soluble et d'azote albuminoïde.

L'azote total a été obtenu par un Kjeldahl ordinaire avec emploi de mercure comme catalyseur, et hypophosphite de sodium suivant MAQUENNE, comme réducteur. La réduction préalable des nitrates était faite à l'aide de fer pur réduit par l'hydrogène et vérifié.

L'azote albuminoïde a été dosé par la méthode Kjeldahl normale, en recevant l'ammoniaque libérée dans une solution $\frac{N}{10}$ d'acide sulfurique, la liqueur sodique ayant fait l'objet d'un essai préalable à blanc. Le mode d'extraction de cette forme d'azote était le suivant : (7)

L'échantillon de feuilles (5 gr.) ayant été réduit d'abord en pulpe grossière avec des ciseaux, puis en pulpe extrêmement fine dans un mortier en verre dépoli intérieurement, a été introduit dans un bécher contenant 200 cc. environ d'eau additionnée d'acide acétique à raison de 1 %. Après une ébullition d'environ 10 minutes, on a filtré sur papier Berzélius. Après lavage à l'eau acétique, les matières azotées albumi-

(7) Méthode Grandeau.

noïdes demeurées sur le filtre à l'état de coagulation ont été recueillies pour le dosage de l'azote.

Le filtrat, constitué par un mélange complexe de substances azotées solubles: nitrates, amides et acides aminés, ces deux dernières formes d'azote résultant en partie d'une hydrolyse par l'eau acidulée, n'a fait l'objet d'aucun dosage. La nature des substances contenues dans ce liquide d'extraction ne représentant pour nous aucun intérêt direct, nous avons simplement obtenu la proportion d'azote soluble qu'il renfermait, en faisant la différence entre le taux d'azote total déjà connu et celui de l'azote albuminoïde obtenu comme indiqué.

D'après BRIOUX et BUSSARD ce procédé de dosage donne les mêmes résultats que la méthode classique de STUTZER (procédé de RITTHAUSSEN modifié par A. STUTZER) basée sur l'insolubilisation des matières albuminoïdes par l'oxyde de cuivre hydraté.

Les dosages de cendres et de manganèse dans les feuilles ont été effectués en suivant exactement les techniques indiquées par Gabriel BERTRAND dans son guide pour les manipulations de chimie biologique (p. 41 et p. 31).

I. — Essais en solutions nutritives

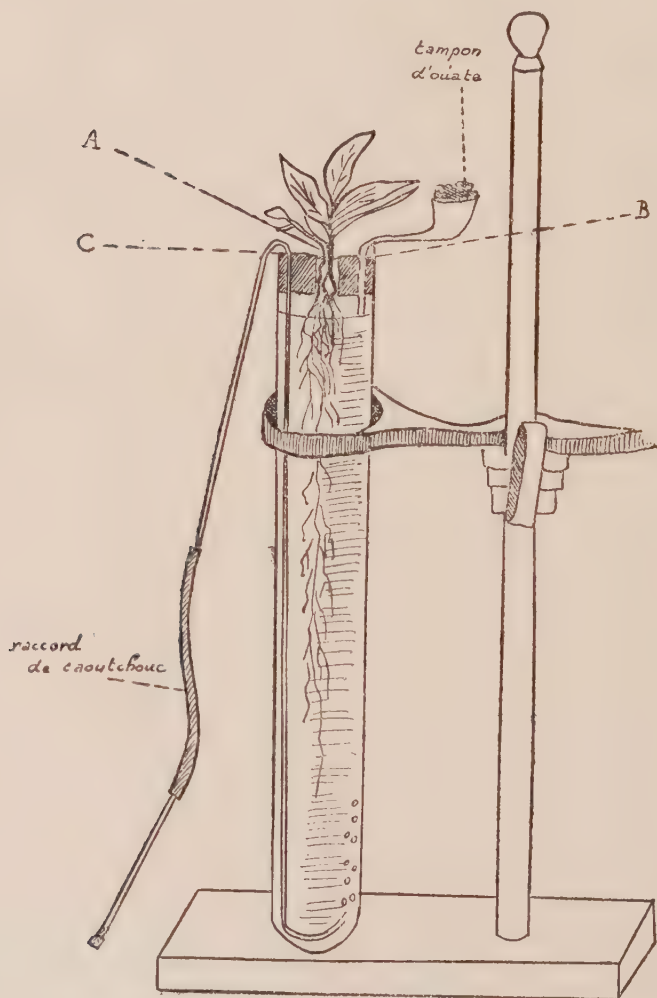
Nous allons d'abord exposer les conditions matérielles en indiquant les raisons du choix de la technique adoptée. C'est ainsi que nous examinerons successivement :

- a) Le système d'appareil et le mode de culture utilisés;
- b) Le milieu nutritif: formule adoptée, préparation des solutions, etc.
- c) La mise en végétation et la conduite de l'essai.

a) *Appareil de culture.* — Les conditions de nos expériences réclamant une grande précision et le changement des solutions étant assez fréquent, il importait d'opérer sur de petites quan-

tités de liquide nutritif; aussi à l'emploi de vases plus ou moins larges avons-nous préféré celui de gros tubes en verre semblables à ceux servant pour les essais de sucres. Voici d'ailleurs les caractéristiques du dispositif.

Chacun des tubes d'une longueur de 25 cm. et de 30 mm. de diamètre est fermé par un bouchon en liège fin perforé de trois trous suivant le dessin ci-contre.



L'ouverture A est destinée à recevoir la plantule; par B pénètre un tube dont l'extrémité a été travaillée au chalumeau pour faire entonnoir recourbé deux fois de manière à ne pas gêner la plante; ce tube est obturé par un tampon d'ouate empêchant l'introduction d'impuretés dans le milieu de culture; la partie inférieure de ce tube a d'autre part l'avantage de servir de point de repère pour juger de l'évaporation: c'est ainsi qu'on introduit de l'eau distillée pour maintenir constant le volume de la solution dans chaque essai et par conséquent la concentration saline.

Par C, pénètre un tube de très petit diamètre (3 mm. environ) qui descend jusqu'au fond de l'appareil dont il épouse la forme ce qui permet d'avoir lors de l'insufflation d'air dans les solutions, un dégagement gazeux se faisant bulle à bulle ce qui n'abîme pas les radicelles.

Ce tube prévu pour l'aération sert aussi de siphon pour changer périodiquement le liquide nutritif et opérer les lavages du tube sans toucher à la plante. L'adaptation d'un fin tuyau de caoutchouc donne plus d'aisance pour les siphonnages et évite la cassure de la partie coudée.

Les appareils ainsi montés sont disposés en série sur des supports en bois, chaque tube étant enveloppé d'une gaine de soie mobile, noire à la surface intérieure des tubes, et blanchie extérieurement (contre la chaleur).

b) Milieu nutritif. — Les mélanges utilisés par les divers expérimentateurs sont en général assez variables suivant la nature des essais et les exigences de l'espèce cultivée. Cependant on retrouve la plupart du temps les formules plus ou moins modifiées des physiologistes qui établirent ou mirent au point les expériences en milieux synthétiques: mélanges de SACHS, KNOR, HELLRIEGEL, CRONE, DETNER, MAZE, JAVILLIER, etc...

Nous avons adopté la solution suivante qui est celle de KNOR, modifiée au point de vue proportion et concentration des sels,

SOLUTION NUTRITIVE COMMUNE A TOUS LES ESSAIS

Nitrate de chaux	1 gr.
Sulfate d'ammoniaque	0,25
Nitrate de potasse	0,25
Phosphate mono-potassique	0,50
Sulfate de magnésie	0,25
Chlorure ferrique officinal au 1/5	6 gttes
Eau redistillée dans le verre (Pyrex) q. s. p. ..	1.000 cc

Le liquide nutritif renfermait donc pour mille :

Azote	0,2583
Potasse (en K_2O)	0,288
Acide phosphorique (en P_2O_5)	0,261
Magnésie (en Mg)	0,098
Chaux (en CaO)	0,340
Fer (en Fe_2Cl_6)	0,0866
Soufre (en SO_4)	0,2792

Par rapport aux mélanges habituels la teneur en azote est plus élevée, ceci pour satisfaire aux conditions expérimentales exposées plus loin. Parallèlement pour ne pas provoquer un déséquilibre alimentaire de la plante, les teneurs en potasse et acide phosphorique ont été augmentées.

A part la chaux qui se retrouve comme en Knop normal, nous verrons plus loin les modifications apportées pour le fer et le soufre. Au point de vue de la forme sous laquelle les éléments ont été introduits nous indiquerons que :

Pour l'azote, nous avons tenu à mettre à la disposition de la plante la forme nitrique et ammoniacale. En effet, d'une part, bien que les nitrates constituent normalement l'aliment de choix pour la nourriture azotée de la plante, on sait que la forme ammoniacale est aisément assimilée par le végétal. D'autre part l'addition de manganèse dans les essais pouvait influencer plus particulièrement l'une ou l'autre de ces deux formes d'azote. D'ailleurs la forme nitro-ammoniacale se rencontre dans de nombreux mélanges nutritifs classiques (HELL-RIEGEL, MAZE, etc...),

Pour la potasse et l'acide phosphorique, les formes de ces éléments sont celles qui se trouvent dans le liquide de Knor; pour la magnésie et la chaux également.

Le fer a été introduit sous la forme de chlorure et non de phosphate comme il l'est dans le Knor car ce sel peut contenir du fer à l'état ferreux pouvant fausser la concentration prévue et apporter au milieu nutritif un sel réducteur paraissant défavorable à la plante.

Le perchlorure de fer étant un sel à acidité hydrolytique, donc à réaction acide, nous a permis de réaliser commodément le pH final désiré. Ce sel apportait en outre au milieu l'élément chlore qui semble avoir un heureux effet sur le comportement des cultures. (MAZE)

En ce qui concerne le soufre, on peut remarquer que la dose introduite sous forme de sulfate ($\text{Am}^2 \text{So}^4$) et (Mg So^4) est assez importante:

En effet, outre que ce corps joue un rôle physiologique de premier ordre, il nous a paru utile d'en pourvoir abondamment le milieu nutritif afin d'éviter ainsi les critiques concernant l'emploi du manganèse sous forme de sulfate dans nos essais:

Comme certains expérimentateurs (1) ont pu le signaler l'action heureuse de sels de fer, de manganèse, pourrait être attribuée à l'anion So^4 lorsque ces corps sont ajoutés sous forme de sulfate à des milieux nutritifs où la teneur en soufre peut être déficiente.

Quant au Silicium dont la valeur nutritive est contestée, sinon niée par de nombreux physiologistes nous n'en avons pas mis dans nos solutions (2); lors même que ce corps aurait une action physiologique quelconque, les petites quantités de silicates

(1) P. Mazé, *Etude sur la chlorose expérimentale du maïs*, C. R. Ac. Sc. t. 152, p. 902, 1911.

(2) L'emploi de silicates alcalins est d'ailleurs peu praticable en raison de leur forte réaction alcaline. Quant à la silice gélatineuse, son influence en milieu liquide apparaît nulle d'après divers auteurs (cit. Levis).

solubles dans l'eau que le verre des flacons peut céder au milieu seraient suffisantes pour assurer aux plantes leur besoin en cet élément.

L'addition de Kaolin au milieu de Culture qui donne de si bons résultats n'a pu être envisagée, étant donné l'apport de manganèse que ce produit aurait déterminé (3).

La question du pH. — Dans l'examen critique des milieux synthétiques nous avons fait mention de l'inconstance du pH. dans de nombreux mélanges nutritifs alors que ce dernier varie peu en général en sels naturels.

Il y a là évidemment une influence pouvant être défavorable à la végétation et à laquelle nous aurions voulu pallier, mais après avoir étudié les possibilités d'emploi de mélanges nutritifs à pH. stable (4) il ne nous a pas semblé possible d'utiliser ces intéressants mélanges: En effet, en adoptant l'un d'eux il ne fallait pas songer à modifier un seul de ses constituants sous le rapport de la proportion ou de la concentration, ce qui aurait eu pour effet de détruire l'équilibre ionique soigneusement réalisé par leur auteur.

On pourra enfin nous objecter peut-être que nous aurions pu adopter une des solutions nutritives de MAZE ou de JAVILLIER dans lesquelles rentrent outre les constituants principaux, tous les infiniments petits chimiques dont l'action heureuse sur la végétation a pu être reconnue (lors de l'emploi le manganèse étant supprimé dans les témoins).

Si dans le mélange nous n'avons introduit aucune trace de bore, de fluor, de zinc, d'iode, etc... ce n'est pas que nous ayons voulu démontrer une « exclusivité » du manganèse en ce qui concerne son influence sur l'assimilation de l'azote, d'autres éléments rares pouvant peut-être aussi exercer dans

(3) Cf. A. MAYER : *Eléments accessoires du sol dans la croissance des plantes*, Ann. Sc. Agron. document., p. 868, 1931 et DUBRIZAY, TRILLAT et ASTIER, C. R. Ac. Sc. t. 189, n° 1, 1929.

(4) Ch. ZINZADZÉ: *Nutrition artificielle des pl. cultivées*, Ann. Sc. Agron., n° 6, p. 809, 1932.

ce sens une action favorable. Nous avons simplement évité une action concertée de plusieurs éléments catalytiques qui eut pu avoir de fâcheux effets dans l'interprétation des résultats relatifs à l'action propre du manganèse sur l'assimilation de l'azote, objet de notre étude.

Examen des produits. — Les produits employés ont été examinés au point de vue de leur teneur exacte en l'élément considéré et de leur pureté.

Les possibilités de traces de manganèse dans l'un ou l'autre des produits utilisés ont retenu en particulier notre attention. Nous avons, en il est vrai, la précaution de ne pas employer, selon les indications données par Gabriel BERTRAND, des sels tels que le carbonate de magnésium, le sulfate ferreux, difficilement exempts de manganèse, et de les remplacer par d'autres d'une pureté satisfaisante à ce point de vue. Le sulfate de magnésie a été purifié en le dissolvant dans environ deux fois son poids d'eau bouillante, ajoutant ensuite un peu de magnésie en poudre, filtrant et laissant cristalliser (Codex).

La recherche de traces de manganèse sur les solutions témoins, effectuée d'après la méthode colorimétrique de BERTRAND, dans les conditions ordinaires a d'ailleurs donné des résultats négatifs. A noter que tous les produits utilisés avaient fait l'objet d'un examen de la Maison RHÔNE-POULENC qui les déclare exempts de traces de Mn.

Une cause d'introduction de quantités infinésimales de manganèse dans les solutions pouvait provenir ainsi que l'avait signalé aussi le Savant précité, de l'attaque des tubes mêmes de cultures par les liqueurs nutritives.

En considérant que les proportions de manganèse ainsi cédées par le verre peuvent être de l'ordre de 1/3.000 de milligr. environ pour 100 cc. de liquide, on peut juger très négligeable l'influence d'aussi minimes quantités réparties d'ailleurs également dans les essais et les témoins (5).

(5) D'après G. BERTRAND : *Observations faites au cours des recherches sur l'action du Mn sur le développ. de l'Asperg. Nigr.*, Bull. Soc. Chim., t. XI, 1912, pp. 212-21.

En ce qui concerne l'emploi du sulfate de manganèse à introduire dans les essais, nous nous sommes borné sur ce produit garanti pur comme les précédents (par la Maison RHÔNE-POULENC) à la recherche du zinc selon BERTRAND et JAVILLIER (6) qui s'est montrée négative.

PRÉPARATION DES SOLUTIONS

L'emploi de solutions concentrées ou solutions mères nous a évité la préparation renouvelée des mélanges nutritifs, cause d'erreurs possibles, en même temps que la conservation des liqueurs se trouvait assurée. — Connaissant le titre exact de la solution mère, il suffisait d'en prélever un volume déterminé que l'on diluait au volume convenu.

Solution A

Ca(NO₃)₂ 50 gr.
H₂O redist. q. s. p. 1.000 cc.
20 cc. de cette solution renferment 1 gr. de nitrate de chaux soit : 0 gr. 1707 d'azote.

Solution C

(NH₄)₂SO₄ 12 gr. 50
H₂O redist. q. s. p. 1.000 cc.
20 cc. de solution renferment 0 gr. 25 de sulfate d'ammoniaque soit : 0 gr. 053 d'azote et (en SO₄) 0 gr. 182 de soufre.

Solution E

Mg SO₄ 12 gr. 50
H₂O redist. q. s. p. 1.000 cc.
20 cc. de solution renferment :
Magnésie : 0 gr. 0245,
Soufre : 0 gr. 0072 (en SO₄).

Solution de Sulfate de Manganèse

Mn SO₄ anhydre 3 gr. 775
H₂O redist. q. s. p. 1.000 cc.
20 cc. de cette solution renferment : 0 gr. 02748 de manganèse (en Mn).

Solution B

KNO₃ 12 gr. 50
H₂O redist. q. s. p. 1.000 cc.
20 cc. de solution renferment 0 gr. 25 de nitrate de potasse soit : 0 gr. 0346 d'azote et 0 gr. 1162 de potasse (K₂O).

Solution D

KH₂PO₄ 25 gr.
H₂O redist. q. s. p. 1.000 cc.
20 cc. de solution renferment 0 gr. 500 de phosphate mono-potassique soit : 0 gr. 172 K₂O et 0 gr. 261 P₂O₅.

Solution F

Cl⁶Fe² au 1/5 20 cc.
H₂O redist. q. s. p. 1.000 cc.
7 gouttes de solution renferment 0 gr. 1014 de Cl⁶Fe² réel.

(6) Détermination de très faibles quantités de zinc (BERTRAND et JAVILLIER) Cf. DENIGÈS, Précis de chim. analyt., p. 886.

Enfin l'eau distillée employée avait été distillée à deux reprises dans un appareil entièrement en verre. (Pyrex.)

Technique expérimentale et résultats obtenus

Germination. — Nous avons jugé préférable à de nombreux procédés utilisés pour la germination des graines, un dispositif personnel permettant de ne jamais avoir à toucher ces dernières et de pouvoir transporter aisément les plantules dans les solutions sans froisser les racicules lors de leur introduction dans le trou du bouchon obturant le tube.

Nous avons confectionné un grand nombre de fragments de tubes en verre de diamètre proportionné à l'ouverture du bouchon et d'environ 25 mm. de hauteur, que nous avons placés verticalement au fond d'une boîte de Pietri contenant une quantité convenable d'eau bi-distillée.

Chacun des petits cylindres en verre a reçu une graine dont la germination s'est opérée normalement. De la boîte de Pietri partait un tortillon de gaze hydrophile relié à une provision d'eau bi-distillée placée à côté, réalisant un siphon destiné à compenser les pertes par évaporation.

Le végétal ayant servi aux essais était la Moutarde blanche, dont les graines provenaient de la *Station Centrale d'essais de semences de Paris*, qui avaient eu l'obligeance de les examiner au point de vue pureté et faculté germinative.

Les plantules ayant atteint un développement suffisant, une sélection fut opérée parmi elles; c'est ainsi que seuls les sujets présentant entre eux le maximum d'analogie au point de vue de la croissance furent introduits dans les tubes.

Les tubes de cultures au nombre de 6 (3 essais — 3 témoins) avaient reçu au préalable la même quantité de solution nutritive laquelle contenait dans les essais, du sulfate de manganèse

à la concentration de $\frac{1}{2000}$ du poids atomique de ce métal (7).

2000

Les cultures étaient placées dans des conditions uniformes d'éclairement et le liquide maintenu à l'intérieur des tubes, à niveau constant par l'addition d'eau bi-distillée dans le verre.

Notre intention n'étant point en l'occurrence de suivre l'absorption graduelle de l'azote par le végétal, nous avons dosé cet élément seulement à la fin des opérations dans les liquides soigneusement recueillis à chaque changement de solution, et mis en fioles bouchées et numérotées.

Pour diverses raisons la durée de la végétation a été limitée à 30 jours.

Dans chaque tube, c'est-à-dire pour 160 cc. de liquide on avait introduit successivement les doses d'azote suivantes (en mmgr.).

Du 1 ^{er} au 4 ^e jour	20.66
— 2 ^e — 8 ^e —	20.66
— 8 ^e — 14 ^e —	41.3
— 14 ^e — 20 ^e —	41.3
— 20 ^e — 26 ^e —	41.3
— 26 ^e — 30 ^e —	41.3
Soit une dose d'azote de (mmgr par culture) ..	206.52

Au délai fixé, les plantes ont été enlevées des tubes après lavage de leurs racines à l'eau distillée, lavage opéré sur la solution respective de chacun des essais, et les solutions ont été réunies aux précédentes par ordre de numérotation.

Le dosage de l'azote total des liquides ainsi successivement recueillis a donné les résultats suivants :

(7) Nous avons choisi cette concentration qui avait fourni dans les essais en solutions nutritives de STOKLASA (C. R. Ac. Sc. T. 152, 1911, p. 1340) d'excellents résultats.

Nos	Essais	Azote restant	Azote absorbé
1	+ Manganèse	124.7	81.8
2	Témoin	129.2	77.3
3	+ Manganèse	126.2	80.3
4	Témoin	127.8	78.7
5	+ Manganèse	123.5	83.0
6	Témoin	132.0	74.5

II. — Essais en sols artificiels

Nous avons utilisé pour ces essais de petits godets en verre comme appareils de culture, et comme support, du sable siliceux pur, calciné et lavé aux acides et à l'eau bi-distillée dans le verre.

Chaque godet contenant 100 gr. de sol était amené au préalable au même taux d'humidité et recevait au moment de la mise en sol des plantules, une quantité uniforme de la solution nutritive décrite dans les essais précédents, solution manganesée — sauf pour les témoins — à la concentration de 1/2.000 du poids atomique du manganèse.

Le nombre des essais était de 8 dont 4 témoins. Le végétal d'expérience a été le sarrasin dont les graines nous furent aussi aimablement adressées, après contrôle, par la *Station Centrale d'essais de semences de Paris*.

Après la mise en germination du sarrasin dans les mêmes conditions que précédemment, on a opéré parmi les plantules une sélection fournissant des sujets semblables.

Des conditions uniformes de température, d'humidité et d'éclairement furent observées pour tous les essais.

Nous avons suivi la même technique analytique que celle adoptée en solutions nutritives, en ce sens que nous avons opéré le dosage de l'azote demeuré dans le substratum après la durée de la végétation, préférant cette méthode à celle du Professeur NEUBAUER (1) qui consiste dans l'analyse des plantules et qui, si elle comportait moins de complications opératoires et, partant de possibilités d'erreurs, aurait pu nous servir pour calculer l'exportation de l'azote par la plantule.

(1) H. NEUBAUER et W. SCHNEIDER; Zeit. f. Pflanz, 2, A., 1923, p. 329.

La durée de la végétation a porté sur 25 jours seulement. Les additions de solution nutritive étaient faites à intervalles réguliers dans les conditions semblables pour tous les godets.

Au bout du temps fixé, les plantes ont été séparées des sols après lavage à l'eau distillée des racines de chacune d'elles, opération faite dans chaque godet leur afférant.

Le dosage de l'azote a été effectué dans les conditions uniformes de la même méthode déjà décrite.

Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

Nos		Azote introduit	Azote restant	Azote absorbé
1	Manganèse ...	103.0 mgr.	63.6 mgr.	39.4 mgr.
2	Témoin	— —	65.1 —	37.9 —
3	Manganèse ...	— —	64.7 —	38.3 —
4	Témoin	— —	67.2 —	35.8 —
5	Manganèse ...	— —	61.0 —	42.0 —
6	Témoin	— —	66.8 —	36.2 —
7	Manganèse ..	— —	62.5 —	40.5 —
8	Témoin	— —	64.9 —	38.1 —

III. — Expérimentation culturale directe

Bien que normalement ce mode d'expérimentation soit la suite logique des expériences de laboratoire, nous l'avons utilisé — en raison de nos possibilités matérielles — dès le début de notre étude.

Nos premiers essais ont été faits en vases de végétation. (Dijon, 1930). Notre expérimentation s'est ainsi poursuivie l'année suivante par des essais en pleine terre, et s'est terminée en 1933 à la Station de recherches agronomiques d'Avignon.

Techniques expérimentales

(Communes aux expériences culturales de 1930-31-33.)

Dans l'espoir d'arriver à des résultats significatifs en ce qui concerne la constatation de l'influence effective d'un sel de

manganèse sur l'assimilation de l'azote provenant soit d'engrais chimiques, soit des réserves azotées du sol, il nous a paru rationnel de nous adresser à deux méthodes différentes de contrôle.

Nous allons successivement examiner chacune d'elles.

A) *Contrôle d'un accroissement de la matière azotée dans la récolte.* — Des constatations effectuées en se basant sur des excédents de récoltes donnent bien évidemment une idée d'une meilleure assimilation de la plante, mais ne sauraient nous renseigner exactement sur l'accroissement respectif d'assimilation de chacun des principes nutritifs.

La composition chimique de la récolte est à ce point de vue susceptible de nous donner d'utiles indications. C'est le procédé de contrôle utilisé jusqu'à présent par les expérimentateurs — assez rares du reste — qui se sont occupés de l'influence que pouvait avoir le manganèse sur l'assimilation et l'élaboration de l'azote.

Le dosage des matières azotées s'effectue sur telle ou telle partie du végétal, en général sur les fruits où se sont accumulés les substances protéiques de réserve.

C'est ainsi que dans les expériences où nous avons employé ce procédé, des échantillons ont été prélevés d'une façon uniforme pour chaque essai, puis selon la substance, divisés, soumis à une dessiccation ménagée et broyés ensuite finement. La poudre obtenue a été mise en flacons bien bouchés, maintenus à l'obscurité jusqu'au moment des prélèvements pour les dosages.

B) *Contrôle de l'élaboration azotée en cours de végétation.* — Il nous a paru vraisemblable que des analyses effectuées dans la plante en plein développement, à une période où s'opèrent avec une très grande activité les processus synthétiques de la matière vivante, étaient à même de nous fournir des indications plus intéressantes que la méthode précédente, sur l'action stimulante effective du manganèse relativement à l'assimilation de l'azote.

Nous savons en effet que la simplification des albuminoïdes et

leur insolubilité ultérieure s'effectuent avec une intensité très forte vers l'époque de la floraison. « La plante prend au sol les matières minérales dont elle a besoin, tant que la floraison n'est pas achevée; au delà l'absorption est peu marquée en général » (ANDRÉ — Chimie végétale).

A ce moment une fraction souvent considérable de l'azote total circule *sous une forme soluble*, composée en majeure partie de substances amidées et aminées, qui peuvent être considérées comme des termes essentiels de la synthèse albuminoïde.

Arriver à déterminer à cette période spéciale, dans un végétal soumis à une fumure manganésée, le teneur de ce dernier en matières azotées (azote diffusible et azote insoluble) et comparer les résultats obtenus dans les mêmes conditions sur un végétal témoin, nous a paru constituer un moyen de contrôle de l'influence du manganèse sur l'assimilation azotée, particulièrement suggestif.

Exécution. — Nos déterminations ont porté sur les feuilles, organes de la plante qui représentent nettement le lieu de l'élaboration des matières azotées: « celles-ci s'y accumulent pour ainsi dire d'une façon transitoire » (ANDRÉ — Chim. végét.).

On comprend en effet que la feuille, siège de la fonction chlorophyllienne soit le lieu de la combinaison des hydrates de carbone avec l'azote minéral.

Nous nous sommes inspirés pour réaliser ce contrôle, des travaux mêmes de H. LAGATU et L. MAUME (1) sur le « Diagnostic foliaire », en ce sens que nous avons recherché dans la feuille du végétal soumis à nos essais, un indice exact de son assimilation azotée, exprimé par la richesse momentanée de la feuille en azote (soluble ou insoluble).

Comme ces auteurs, nous avons — d'après leurs propres termes — cherché à saisir le chimisme d'un organe en croissance pris en une place déterminée, au lieu de faire l'analyse couramment pratiquée d'un ensemble d'organes, par exemple du feuillage tout entier.

(1) Directeurs de la Station des recherches chimiques de l'Ecole Nat. d'Agr. de Montpellier.

Nous n'entrerons pas ici dans la discussion de cette méthode originale et pratique qui a déjà fourni à ses créateurs des preuves solides de sa justesse et de sa fidélité (2).

« Elle diffère de toutes les méthodes d'observations usitées jusqu'à ce jour par ce qu'elle signale le mode d'alimentation de la feuille au moment de l'échantillonnage. »

« Le diagnostic foliaire n'est pas un succédané de l'analyse de la plante entière: c'est un test particulier d'alimentation qui raconte la cinématique de l'évolution chimique de la feuille. »

Le diagnostic foliaire permet donc de se rendre compte du retentissement que peut avoir dans le végétal l'application d'une fumure déterminée.

L'efficacité des fumures sur l'alimentation globale a pu être ainsi démontrée (3).

Cette méthode se servant de la plasticité chimique de la feuille pour traduire les moindres variations du processus alimentaire, l'influence sur ce dernier d'un élément tel que le manganèse apparaissait dès lors plus aisément saisissable qu'avec les méthodes ordinaires d'investigation.

En adoptant le principe essentiel du « diagnostic foliaire » nous nous sommes cependant borné à la détermination des teneurs centésimales en azote des feuilles prélevées à une seule période de végétation, (début de la floraison), période présentant pour nous le maximum d'intérêt pour les raisons déjà indiquées.

Au sujet des formes d'azote sur lesquelles ont porté nos analyses, nous tenons à souligner que notre souci n'étant point d'établir une différenciation dans la nature de ces différents principes azotés, ce qui nous aurait entraîné dans une véritable étude de l'évolution qualitative de l'azote, nous avons seulement cherché à apprécier la valeur de la somme des composés azotés se trouvant dans la plante, à une période critique de l'assi-

(2) *Le « diagnostic foliaire » et son degré de sécurité*, C. R. Ac. Sc. t. 188, p. 1062, avril 1929.

(3) *Contrôle chimique du mode d'alimentation de la vigne par les engrais*, C. R. Agric. 13, 6 avril et 18 mai 1927.

milation, soit à l'état soluble (amino-acides et amides), soit à l'état insoluble (protéines).

Expériences en vases de végétation (Dijon)

But principal. — Possibilité d'un contrôle dans le végétal, du taux d'azote — en cours et en fin de végétation — susceptible d'être accru par l'action d'un sel de manganèse, l'azote à la disposition de la plante provenant de deux engrais chimiques: l'urée et le sulfate d'ammoniaque.

Constatations secondaires: rendements, précocité.

Végétal employé: maïs sélectionné (*Jaune hâtif d'Auxonne*) fourni par la *Station d'amélioration des plantes de Dijon*, (P. L. M.).

Dispositif: essais en vases de zinc, modèle WAGNER, contenant tous 12 kgs. de terre silico-calcaire, additionnée d'une légère proportion de terre de jardin pour l'apport de bactéries utiles.

Analyse de la terre employée. — Méthodes officielles des Stations agronomiques). Le mélange contenait pour mille gr. de terre fine sèche:

Sable grossier calcaire	143.00		
— grossier siliceux	424.50		
— fin calcaire	48.00		
— fin siliceux	123.70		
Limon	68.40		
Argile	137.50		
Matières humiques	5.80		
Eléments dits « assimilables »		Acide phosphorique	0.32
		Potasse	0.28
Azote total			1.1
Dosage du Manganèse % de terre fine sèche	Total	0.022	{ fusion alcaline
	Soluble	0.009	{ acide acétique étendu

L'analyse fait apparaître la pauvreté en manganèse du sol employé, genre de sol recherché intentionnellement.

Remplissage des vases : mélange des engrais avec 10 kgs. de la terre préparée au tamis de 2 mm. à trous ronds et reposant sur un lit de cailloux qui servit à ajuster uniformément le poids des vases avant l'introduction des sols.

Engrais employés; doses. — On avait introduit dans tous les vases les engrais suivants à doses communes à tous les essais :

Superphosphate	5 gr. représ. 0.75 de P_2O_5 .
Carbonate de potasse	2 gr. — 1.36 de K_2O .

Doses d'azote: 1 gr. par essai dans chaque série, soit :

Pour la première série	5 gr. de sulfate d'ammoniaque.
Pour la deuxième série	2 gr. 2 d'urée.

Doses de manganèse: variables suivant les essais d'une même série mais semblables dans les deux séries.

Chaque série comportant 3 essais et 2 témoins, on introduisit dans les deux premiers essais de chacune d'elles une dose de manganèse dite « normale » alors que le 3^e recevait une dose dite « forte ».

C'est ainsi qu'on avait :

1^{re} série :

Numéros 2 et 3	0.25 de sulfate de manganèse — produit anhydre — représen- tant : 0.09 de Mn métal.
Numéro 4	0.5 du même sel soit : 0.180 de Mn métal.

2^e série :

Numéros 7 et 8	mêmes proportions que numéros 2 et 3.
Numéro 9	même proportion que numéro 4

2 kgs. de terre analogue à la précédente ont été ensuite introduits dans chaque vase, complétant ainsi le poids normal prévu, soit 12 kgs.

Les vases ont été amenés au même taux d'humidité. Le semis eut lieu le 1^{er} mai, à raison de 10 graines de maïs par essai, et le repiquage le 2 juin en ne laissant subsister que 2 sujets par vase.

Observations en cours de végétation. — Pas de différence sensible dans les levées,

1^{er} juin. — Les sujets des essais manganésés se montrent les plus vigoureux.

5 juin. — Une pluie violente cause quelques dommages aux essais; des tuteurs sont placés sur chaque vase.

Floraison: débute vers la fin de la 1^{re} semaine de juillet; les sujets les plus avancés et sur lesquels on opère donc les premiers prélèvements de feuilles sont ceux des essais manganésés (dose dite moyenne).

Voici les dates de début de la floraison relatives à chaque essai :

	PREMIÈRE SÉRIE		DEUXIÈME SÉRIE	
	(Sulf. d'ammoniaque)		(Urée)	
	Nos	Dates	Nos	Dates
Mn, dose «moyenne»	3	8 Juillet	7	9 Juillet
« « d°	2	10 d°	8	15 d°
« « « forte »	4	19 d°	9	20 d°
Témoin	1	15 d°	6	24 d°
d°	5	22 d°	10	27 d°

A chacune des dates indiquées ci-dessus, un prélèvement de feuilles a été effectué sur les sujets correspond à chaque essai. Chaque sujet a fourni deux feuilles; celles-ci prises immédiatement avant l'inflorescence: « Si l'on était amené à craindre une trop grande extension de la surface du sol utilisé pour l'échantillonnage, on pourrait comme nous l'avons fait souvent prélever 2 feuilles immédiatement consécutives » (1).

Chaque prélèvement a été fait dans la matinée à la même heure. Une partie de l'échantillon a été prise à l'état frais pour le dosage des substances amidées et animées (*N diffusible*) effectué aussitôt; l'autre partie étant mise après pesée préalable à l'étuve vers 65°, pour servir à la détermination de l'humidité, des cendres, du manganèse et au dosage ultérieur de l'azote total sur la matière sèche pulvérisée.

(1) H. LAGATU et C. MAUME : *Le diagnostic foliaire*, 1930,

Les résultats de tous ces dosages sont relatés pour chaque série dans les tableaux ci-après :

1^{re} Série. — (Sulfate d'ammoniaque)

Numéros des pots	1	2	3	4	5
	Témoin	Mn dose dite « moyenne » dose	Mn dose dite « moyenne » dose	Mn dose dite « forte » dose	Témoin
Humidité	80	76.6	79	78.4	77.4
Azote total	2.1	2.22	2.44	2.356	1.95
— soluble	0.440	0.540	0.470	0.550	0.538
— insoluble	1.66	1.68	1.64	1.806	1.412
Cendres	10.4	10.3	10.1	10.7	10.1
Manganèse	0.008	0.009	0.008	0.010	0.007

2^e Série. — (Urée)

Numéros des pots	6	7	8	9	10
	Témoin	Mn dose dite « moyenne » dose	Mn dose dite « moyenne » dose	Mn dose dite « forte » dose	Témoin
Humidité	76.9	78.4	80.5	79	78.5
Azote total	1.895	2.27	2.261	2.462	2.08
— soluble	0.470	0.580	0.511	0.702	0.520
— insoluble	1.425	1.69	1.75	1.76	1.56
Cendres	9.8	9.9	9.8	10.2	9.6
Manganèse	0.009	0.007	0.017	0.013	0.009

Dosage de l'azote protéique dans les grains. — La récolte de grains de chaque vase, a été mélangée, desséchée à l'étuve, broyée au moulin, et un échantillon prélevé sur la poudre a servi au dosage de l'azote (sur 1 gr.).

Les résultats suivants représentent l'azote pour cent grammes de matière sèche :

Numéros	PREMIÈRE SÉRIE	Numéros	DEUXIÈME SÉRIE
1	2,58	6	2,62
2	2,63	7	2,63
3	2,63	8	2,60
4	2,62	9	2,68
5	2,61	10	2,63

II. — Expériences en pleine terre

Ce mode d'expérimentation a servi pour les essais effectués en 1931 à la Station d'agronomie de Dijon, et pour ceux réalisés en 1933 à la Station d'Avignon.

A) ESSAIS DE DIJON

On s'est attaché comme dans les essais en vases de végétation à contrôler l'accroissement possible d'assimilation azotée à la faveur d'un sel de manganèse, d'une part selon le principe du « diagnostic foliaire » et vers l'époque de la floraison, et d'autre part en fin de végétation par l'analyse des fruits.

Les essais qui ont eu lieu dans le jardin de la Station en sol relativement homogène, ont porté sur l'assimilation de l'azote de deux engrais expérimentés précédemment: le sulfate d'ammoniaque et l'urée, ainsi que sur l'azote des réserves naturelles du sol.

Première série d'essais

Cette série a comporté intentionnellement un petit nombre d'essais, pour nous permettre — vue la nature de la végétation et nos moyens matériels restreints au point de vue cultural — de leur consacrer plus de soins et obtenir ainsi plus de sûreté et de précision lors des prélèvements.

Analyse du sol. — (Eléments fertilisants dits « assimilables »). On a employé la méthode SCHLÆSING-de SIGMOND, applicable en sols calcaires.

Acide phosphorique	0.21	p. mille de terre fine sèche		
Potasse	0.44	—	—	—
Azote total	1,5	—	—	—

La teneur en carbonate de chaux était de 28,5 %.

Le dosage du manganèse (selon BERTRAND) a donné :

Forme soluble à l'acide citrique	0.012	% de terre fine sèche		
Manganèse total (fusion alcaline)	0.029	—	—	—

On avait donc affaire à une terre relativement pauvre en manganèse, se prêtant assez bien aux essais.

Dispositif employé. — 4 lignes de semis de 2 m. 50 de longueur, avec intervalle de 0 m. 60 entre elles. Semis de 5 poquets par lignes, espacés de 0,50. — 2 essais et 2 témoins, alternés par ligne de semis.

Engrais employés. — *Doses.* — Le mélange suivant a été introduit trois semaines avant le semis dans chaque poquet :

Superphosphate	5	grammes	soit 0 gr. 75 d'acide phosph. (P ₂ O ₅).
Carbonate de potasse	2	—	— 1 gr. 3 de potasse (K ₂ O).
Urée	3,3	—	— 1 gr. 5 d'azote (ammon.)
Sulfate de manganèse (à 4 aq.)	0 gr. 5	représentant	0 gr. 123 de Mn métal.

Epoque du semis : le 4 juin.

Plante d'expérience: Maïs, variété jaune hâtive d'Auxonne, sélectionnée par la *Station d'Amélioration des Plantes de Dijon* (P. L. M.). Semis à raison de 4 grains par poquet.

Levée vers le 20 juin. Eclaircissement des plants le 4 juillet à raison de dix par ligne; puis le 15 juillet le nombre de pieds est réduit à 5 par ligne.

Premiers dosages de matière azotée : effectués occasionnellement sur des sujets provenant de l'arrachage du 15 juillet. Les sujets d'une même ligne ont été réunis et les différentes parties de la plante (sauf les racines) ont été sectionnées et réduites en fragments qui ont été pulvérisés après passage à l'étuve à 75°. Une réduction préalable des nitrates a été faite comme indiqué plus haut.

Dosages de l'azote total.

Ligne I	Ligne II	Ligne III	Ligne IV
8.35	7.70	8.00	7.80

Observations sur la végétation

Le 25 juillet. — Les lignes 1 et 3 avec manganèse présentent des sujets nettement plus vigoureux que ceux des lignes 3 et 4 témoins. Leur hauteur est sensiblement la même.

Observations vers la floraison

Différence très nette entre les sujets traités à la fumure au manganèse et ceux traités avec une fumure simple. La floraison et la vigueur générale des premiers sont plus avancées.

Dates de début de la floraison

Ligne I	Ligne II	Ligne III	Ligne IV
10 août	19 août	14 août	17 août

Dosage de l'azote des feuilles à la floraison

(modes de prélèvement et de dosage analogues à ceux employés
pour les essais en vases)

	Ligne I avec Mn	Ligne II Témoin	Ligne III Essai avec Mn	Ligne IV Témoin
Eau	71.5	72.8	72.0	71.8
Matière sèche	28.5	27.2	28.0	28.2
Azote total	2.48	2.1	2.25	2.16
N albuminoïde	1.61	1.42	1.45	1.38
N soluble	0.87	0.68	0.80	0.78

Fructification: Bien commencée en septembre, elle s'est montrée assez longue par la suite et la maturation a été pénible par suite de la température insuffisante à cete époque.

Récolte: 20 octobre — on a observé des grains non parvenus à maturité dans les épis provenant des témoins.

En même temps que les dosages d'azote, nous donnons ci-dessous les résultats secondaires ayant trait aux rendements comparatifs des essais.

LIGNES	Poids total de matière fraîche	Nombre d'épis	Poids des épis	Poids du grain	AZOTE p. cent gr. de grains
I	2.900	8	0.520	0.225	2.80
II	2.100	6	0.335	0.130	2.65
III	3.000	6	0.550	0.190	2.75
IV	2.700	5	0.420	0.155	2.72

Deuxième série d'essais

Ces essais ont porté sur l'influence du sulfate de manganèse sur l'assimilation de l'azote du *sulfate d'ammoniaque* d'une part et *des réserves naturelles du sol* d'autre part. (1)

(1) Du fait que dans ces essais le contrôle n'a été effectué qu'en fin de végétation, il ne saurait être question à notre avis de leur accorder un intérêt du même ordre que pour ceux contrôlés en cours de végétation.

Dispositif. — 10 essais dont 2 sans engrais: 4 poquets par ligne; intervalles entre les lignes: 0,70 et sur les lignes 0,60.

Ligne	Formules
1	Sans engrais.
2	Sulfate d'ammoniaque seul.
3	Manganèse seul.
4	Sulfate d'ammoniaque et manganèse.
5	Sulfate d'ammoniaque et superphosphate.
6	— — et superphosphate et manganèse.
7	— — — et carbonate de potasse.
8	Sulfate d'ammoniaque et superphosphate, carbonate de potasse et manganèse.
9	Sans engrais.
10	— avec dose élevée de manganèse.

Analyse chimique du sol. — Emploi de la même méthode que dans les essais précédents :

Acide phosphorique (P_2O_5) ..	0.28 p. mille de terre fine sèche
Potasse (K_2O)	0.40 — — —
Azote total	1.20 — — —

La teneur en carbonate de chaux (calcimètre) était de 25.5 %.

Le manganèse soluble à l'acide citrique correspondant à 0.018 % de terre fine sèche.

DOSES DES ENGRAIS EMPLOYÉS

Acide phosphorique (P_2O_5) du superphosphate	0 gr. 4
Potasse (K_2O) du carbonate de potasse	1 gr. 0
Azote du sulfate d'ammoniaque	0 gr. 9
Sulfate de manganèse	2 gr. (essai n° 10)
(Sel à 4 aq.)	1 gr. (essai n° 3)
	0 gr. 5 (essai n° 4, 6 et 8)

Culture: semis le 14 juin. Opérations ordinaires des cultures de betteraves: démariage à raison de 2 sujets par poquet. Sarclages.

Végétation: Levée commencement juillet, très irrégulière — 20 juillet les lignes 8, 6, 7, 4 se font dans cet ordre remarquer par leur végétation plus vigoureuse.

Récolte: tardive par suite des circonstances atmosphériques (le 12 novembre).

Arrachage des betteraves en les classant par lot correspondant à chaque formule et prélèvement d'un échantillon moyen pour chacune. Les dosages d'azote effectués sur la matière pulvérisée [après dessiccation convenable, ont donné les résultats suivants: (Nous n'indiquons pas ici les rendements comparatifs par formule; un excédent de production s'est du reste manifesté dans les essais manganésés, ce qui confirme une fois de plus l'action stimulante générale du sulfate de manganèse).

Formules	Azote total	Formules	Azote total
1	2.83	3	2.86
2	2.84	4	2.92
5	2.89	6	2.96
7	2.95	8	2.98
9	2.85	10	2.85

B) ESSAIS D'AVIGNON (1933)

Ces essais ont été effectués dans la serre de la Station d'Agronomie d'Avignon (Champ d'expériences de l'Amandière) afin de se rapprocher le plus possible de l'uniformité des facteurs de croissance. L'humidité en particulier était répartie régulièrement à taux optimum et constant par le système d'irrigation souterraine installé dans la serre (1).

Au moyen de deux séries d'essais portant l'une *sur les réserves azotées du sol*, l'autre *sur l'azote d'une fumure minérale apportée au sol chimiquement équilibrée*, nous avons cherché à déterminer comme dans les essais de 1931, l'accroissement d'assimilation azoté susceptible d'être obtenu dans chacune des séries mises en œuvre, par l'adjonction d'un sel de manganèse.

Le contrôle expérimental a consisté selon les principes du

(1) Système mis au point par MM. BORDAS et MATHIEU. Cf. Rppt. I. R. A., 1929, p. 41 et suivantes.

« diagnostic foliaire » dans l'analyse des feuilles vers la floraison commençante, relativement à leur teneur en matière azotée (azote insoluble et azote diffusible).

Nous avons borné nos recherches à ce stade de végétation étant donné l'obstacle opposé à l'énorme développement des plantes en hauteur par la serre elle-même, et aussi l'intérêt secondaire que nous avaient révélé les précédents essais en ce qui concerne le contrôle effectué en fin de végétation.

Analyse chimique du sol (méthode Schläesing-de Sigmond). —

Acide phosphorique assimilable (P_2O_5)	0.38 p. mille
Potasse assimilable (K_2O)	0.43 —
Azote total	1.40 —

Le teneur en carbonate de chaux (calcimètre) était très élevée: 40,5 %. — La détermination du manganèse sous ses diverses formes a fourni les résultats suivants :

Manganèse (Mn) total (par fusion alcaline	0.114 %
— soluble HCl	0.065 —
— soluble acide citrique à 2 %	0.018 —

On avait donc affaire à un sol assez riche en principes fertilisants. Quant à sa teneur en Manganèse on voit que si elle est élevée pour les formes insolubles dans les acides faibles, elle est par contre assez réduite sous la forme « assimilable ».

Dispositif des essais. — 6 lignes de semis pour chaque série, de 1 m. 20 de long et équidistance de 0 m. 33. Semis par poquet espacés de 0 m. 20 soit 6 sujets par ligne. Après un certain temps de végétation on a éclairci les plants en laissant un sujet par poquet avec le maximum d'uniformité au point de vue de degré de développement.

La première série (réserves azotées du sol) ne reçut aucun engrais mais seulement du manganèse à la dose de 0 gr. 123 (en Mn) sous forme de sulfate, soit 0 gr. 5 par poquet.

La 2^e série (fumure ammonico-nitrique) reçut par poquet le mélange d'éléments nutritifs suivants :

Phosphate mono-potassique	1 gr.
Nitrate de potasse	0 gr. 25
Superphosphate	2 gr. 5
Sulfate d'ammoniaque	2 gr. 5
Sulfate de magnésie	0 gr. 25

Soit une dose d'azote sous forme nitro-ammoniacale de 0 gr. 8 (0,28 de nitrate et 0,5 du sulfate), les proportions des autres principes tendant à assurer l'équilibre chimique de la fumure.

A l'exception des témoins (lignes 1, 3, 5) les essais reçurent en outre du sulfate de manganèse à raison de 0 gr. 5 par poquet (dose indiquée plus haut).

Semis : le 3 avril, avec des grains de maïs provenant d'un même épi. La levée des plants paraît plus rapide chez les essais manganésés. Eclaircissement des sujets le même nombre de jours après le semis pour tous les essais, (1 sujet par poquet). En cours de végétation les essais manganésés ressortent sur les autres par une verdeur du feuillage plus intense et une vigueur plus grande.

Prélèvements de feuilles pour analyse. — Ces prélèvements ont été faits pour chaque série et pour chaque essai sur les sujets parvenus au stade de la floraison commençante. Les analyses ont porté sur les deux formes d'azote: protéique et soluble comme dans les essais 1930-31. Pour cette dernière forme d'azote les déterminations étaient faites immédiatement, au fur et à mesure des prélèvements.

Sur l'échantillon moyen de chaque ligne on a dosé accessoirement les cendres et le manganèse.

Les résultats obtenus, constituant la moyenne de chaque essai sont rapportés dans le tableau ci-dessous.

Série I. — Réserves azotées du sol

DOSAGES EN % DE MATIÈRE SÈCHE	I	II	III	IV	V	VI
	Témoin	Essai + Mn	Témoin	Essai + Mn	Témoin	Essai + Mn
Azote total	2.520	2.874	2.425	2.731	2.460	2.622
— soluble	0.842	0.964	0.728	0.929	0.819	0.893
— insoluble	1.678	4.910	1.697	4.802	1.641	4.729
Cendres	12.7	13.4	13.1	13.8	12.4	12.8
Manganèse	0.012		0.009	0.014	0.011	0.012

Série II. — Azote d'une fumure minérale ammoniac-nitrique

Azote total	2.577	2.978	2.685	2.685	2.546	2.870
— soluble	0.702	0.938	0.806	0.942	0.845	0.994
— insoluble	1.875	2.040	1.746	4.743	1.701	4.876
Cendres	14.3	14.3	13.5	14.5	13.9	14.4
Manganèse	0.010	0.011	0.009	0.009	0.008	0.011

INTERPRETATION DES RESULTATS

I. Essais en milieux artificiels

a) En solution nutritive.

L'influence du manganèse s'est traduite par rapport aux témoins par un accroissement d'azote absorbé.

C'est ainsi qu'on a eu :

Accroissement global de l'azote des essais manganésés	Accroissement de l'essai moyen	Indice de comparaison (témoins = 100)
15,6 mgr.	4,9 mgr.	106,4

Si l'on admet que le manganèse exerce principalement son action sur les phénomènes microbiens, on peut malgré leur faiblesse reconnaître aux différences enregistrées, une valeur assez significative du fait que l'activité biologique du milieu se trouvait extrêmement réduite et que d'une façon générale les conditions propices aux actions bio-catalytiques n'étaient pas convenablement réalisées.

b) En sol artificiel.

Les essais manganésés ont donné des résultats aboutissant aux déductions suivantes :

Accroissement global de l'azote des essais manganésés	Accroissement de l'essai moyen	Indice de comparaison (témoins = 100)
12,2 mgr.	3,05 mgr.	108,2

L'influence du manganèse s'est également manifestée dans ces essais d'une façon appréciable si l'on tient compte des raisons

semblables à celles indiquées plus haut. La valeur relative de l'accroissement azoté provoqué par le manganèse se montre ici légèrement plus élevée.

II. Expérimentation culturale directe

a) Action sur l'assimilation de l'urée. (Essai de Dijon, 1930-31).

Avec les essais en vases de végétation (Dijon, 1930), l'influence du manganèse s'est traduite de la façon suivante par rapport aux témoins :

	Accroissement moyen des essais manganésés (dose «moyenne» et «forte»)	Indices de comparaison
Azote total	0 gr. 344 % de mat. sèche	117,1
Azote protéique ..	0 gr. 241 — —	116,6
Azote diffusible ..	0 gr. 103 — —	120,6

L'accroissement le plus fort a été relevé pour l'essai manganésé à dose dite « forte ». Les taux d'azote total a été accru d'une façon très appréciable, l'azote diffusible ayant été le plus sensiblement influencé.

Avec les essais en pleine terre (Dijon, 1931), les résultats obtenus en faveur du manganèse se traduisent ainsi :

1) Dosages sur la plante entière.

	Accroissement global	Accroissement moyen	Indice de comparaison
(N total en % de matière sèche	0,750	0,370	104,8

Bien que l'action du manganèse se soit manifestée d'une façon très nette par un contrôle effectué sur la plante entière, nous

ne devons pas trop, ainsi qu'il a été précédemment exposé, nous servir de résultats de cette nature pour estimer d'une façon exacte un accroissement de l'assimilation azotée. En effet d'après H. LAGATU et L. MAUME, auteurs du « diagnostic foliaire », les feuilles d'âge différents *ayant des compositions chimiques différentes*, il serait vain de chercher dans la composition de l'ensemble du feuillage une indication sur le mode d'alimentation de la feuille à un moment donné, puisque la composition du feuillage dépend surtout des proportions selon lesquelles sont mélangées dans l'échantillon, les feuilles d'âge différent.

2) *Diagnostic foliaire à la floraison.*

	Accroissement global des essais manganésés	Accroissement de l'essai moyen	Indice de comparaison
Azote total	0,470	0,235	111,0
Azote protéique.	0,260	0,130	109,2
Azote diffusible.	0,210	0,105	114,3

Le taux d'azote total a été assez nettement augmenté, légèrement moins cependant que dans les essais en vases de végétation. La forme d'azote la plus influencée a encore été la forme soluble, ce qui paraît indiquer une action particulière du manganèse sur les phénomènes de migration des matières azotées, c'est-à-dire sur leur simplification.

En ce qui concerne les dosages de l'azote protéique effectués sur les grains récoltés, soit dans les essais de 1930, soit dans ceux de 1931, ils n'ont pas révélé un accroissement très sensible de l'azote des essais manganésés.

En effet en 1930, les dosages d'azote ont varié de 2,60 à 2,68; en 1931 l'accroissement moyen a été de 0,080 mgr. sur les témoins; bien que ce dernier résultat puisse être considéré comme appréciable, étant donné qu'il a été démontré par de nombreux expérimentateurs que la proportion d'azote dosée

dans la matière sèche varie peu avec la fumure azotée (1), le seul dosage des matières protéiques dans les grains à maturité, ne semble pas pouvoir constituer un critérium suffisant de l'influence du manganèse sur l'assimilation de l'azote.

b) Action sur l'assimilation du sulfate d'ammoniaque. (Dijon 1931).

Les dosages d'azote dans les feuilles prélevées à l'époque de la floraison, ont donné lieu aux constatations suivantes :

	Accroissement pour l'essai moyen	Indice de comparaison
Azote total	0,203	110,1
Azote protéique	0,173	111,3
Azote diffusible	0,030	106,3

Le taux d'azote total a été moins fortement accru que pour l'urée; l'azote protéique et surtout l'azote soluble ont été beaucoup moins influencés. L'action du manganèse n'en demeure pas moins significative.

Dosages de l'azote des grains récoltés

De même que pour l'urée, les différences ainsi observées entre l'essai et le témoin sont très faibles: elles sont néanmoins en faveur de la fumure manganésée (accroissement moyen : 0 gr. 031).

Essais en pleine terre (sur betteraves)

Le contrôle de l'assimilation azotée ne s'est exercé ici qu'en fin de végétation et les résultats obtenus quoique n'entraînant que des différences très faibles, font apparaître l'action favorable du manganèse, action plus particulièrement saisissable pour les essais comportant une fumure complète.

(1) Expériences de ROUX (Paris), de Mlle GAROLA (Chartres), de DUPONT (Nancy), etc.. Cependant d'autres expérimentateurs ont trouvé dernièrement des résultats en sens opposé : travaux de JORET (Amiens), de DEHARDON (Blois), d'AUDOUARD (Nantes),

L'assimilation du sulfate d'ammoniaque se montre dans tous les cas stimulée alors que les essais manganésés sans engrais ne gagnent rien d'appréciable sur les témoins.

c) Action sur l'assimilation d'une fumure ammoniac-nitrique et sur l'azote naturel du sol. (Essais d'Avignon, 1933)

Les dosages d'azote de ces essais n'ont porté que sur les feuilles à l'époque de la floraison (diagnostic foliaire), ce mode de contrôle s'étant révélé lors des essais précédents comme le plus démonstratif.

Série I. — Influence du manganèse sur l'assimilation de l'azote du sol.

	Accroissement global de l'azote des essais avec Mn	Accroissement de l'essai moyen	Indice de comparaison
Azote total	0,822	0,274	111,1
Azote protéique.	0,425	0,142	108,4
Azote diffusible.	0,397	0,132	116,2

On constate en faveur du manganèse un accroissement du taux d'azote total indiquant une meilleure assimilation des réserves naturelles du sol en cet élément. C'est encore l'azote des substances azotées solubles qui fournit l'indice de comparaison le plus élevé.

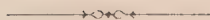
Série II. — Influence du manganèse sur l'assimilation de l'azote d'une fumure amoniac-nitrique

	Accroissement azoté des essais + Mn	Accroissement de l'essai moyen	Indice de comparaison
Azote total	0,858	0,286	111,2
Azote protéique.	0,337	0,112	106,3
Azote diffusible.	0,521	0,174	122,1

L'augmentation du taux d'azote total est sensiblement du

même ordre que dans la première série. Si le taux d'azote protéique marque un accroissement un peu moindre que dans cette dernière, celui de l'azote diffusible est par contre beaucoup plus élevé et indique nettement l'influence du manganèse sur l'activité migratrice des substances azotées pendant une période de transport intense des matériaux nutritifs dans les tissus de la plante.

En somme les résultats obtenus dans ce sens avec les deux séries d'essais confirment ceux de 1930 en vases de végétation et ceux de 1931 en pleine terre.



CONCLUSIONS GENERALES

De l'ensemble des constatations expérimentales auxquelles nos divers essais ont pu donner lieu, il résulte qu'en dehors de son action manifestée par des excédents de production confirmant à nouveau les observations faites antérieurement par un grand nombre d'expérimentateurs, le manganèse, sous forme de sulfate, agit favorablement sur l'assimilation de l'azote (absorption et élaboration) d'engrais chimiques tels que *l'urée* et *le sulfate d'ammoniaque*, de même que sur l'assimilation de *l'azote naturel* du sol.

Les observations relatives à l'influence du manganèse sur des facteurs essentiels de l'assimilation azotée, reçoivent donc par les conclusions présentes une affirmation qui paraît démonstrative: L'accroissement des teneurs en azote obtenu par l'apport d'un sel de manganèse constitue la conséquence tangible des diverses influences attribuées à ce métal sur le métabolisme azoté du sol et de la plante.

En ce qui concerne la valeur interprétative des résultats, la variété de notre expérimentation nous permet d'espérer un degré de certitude assez élevé. Mais la recherche de la composition d'un végétal, ou partie de végétal, peut être conditionnée par un grand nombre d'influences extérieures au sol, ainsi qu'il résulte des travaux mêmes de H. LAGATU et L. MAUME.

Aussi pour l'expérimentation culturale directe, la continuation de semblables essais, avec des conditions extérieures, atmosphériques et autres, variables, autorisera par l'obtention d'une certaine constance des résultats, des assertions plus solides encore.

Les conclusions que d'ores et déjà, les résultats de nos expériences nous permettent de formuler appellent des conséquences pouvant être d'ordre théorique et aussi d'ordre pratique.

Théoriquement : Nos conclusions viennent confirmer et mettre en relief l'importance d'un infiniment petit chimique dans le processus de l'azote du sol et de la plante.

Elles peuvent montrer que le phénomène général de la stimulation végétative observée si souvent à la suite de l'application de sels de manganèse, doit pour une très large part trouver une explication dans la catalyse bio-chimique que cet élément favorise dans le sol d'une part, et de l'autre dans les tissus de la plante où il exalte les réactions intra-cellulaires d'oxydation qui concourent à l'élaboration de l'azote.

Enfin le bien-fondé d'une méthode de contrôle physiologique particulièrement recommandable (diagnostic foliaire) peut trouver à la suite de ces essais une nouvelle confirmation.

Pratiquement : Les résultats obtenus sont de nature à apporter en faveur de la conception de l'engrais complet un très sérieux appui.

Ainsi que l'a si bien dit DUCLAUX : « Il existe dans la plante en bon état de santé, une harmonie remarquable entre les éléments dont le suc cellulaire s'empare; notre idéal devrait tendre à faire régner en permanence une harmonie semblable ».

Or, dans la pratique des fumures, où l'on opère non seulement la restitution au sol des éléments utiles que la plante lui a soustraits (loi de LIEBIG), mais aussi, dans le double but économique de l'obtention de hauts rendements et du maintien de la capacité productive de la terre, un apport supplémentaire de matériaux nutritifs, on se contente encore à l'heure actuelle, dans la grosse majorité des cas de faire intervenir les trois éléments que la science agronomique et l'observation culturale ont reconnu comme essentiels pour la production végétale : azote, acide phosphorique et potasse.

Ces trois éléments constituent en somme actuellement tout

l'approvisionnement alimentaire de la plante (Trinité chimique) (1).

Bien que certains engrais puissent apporter au sol en même temps que l'élément fertilisant principal des éléments accessoires parmi lesquels peut se trouver le manganèse (scories de déphosphoration) il apparaît qu'une fumure manganésée vraiment rationnelle ne saurait être réalisée par les impuretés de tels ou tel engrais.

Une déficience du sol en manganèse est, pour diverses raisons, généralement indépendante de la fertilisation courante (2) et il convient d'appliquer cet élément à des doses et sous des formes appropriées, sans association obligatoire avec tel élément plastique parfois inutile et susceptible de vouer le sol à un déséquilibre alimentaire.

Nos expériences ont également montré (fait déjà constaté antérieurement) que le manganèse agit d'une façon particulièrement efficace sur l'assimilation azotée dans un sol de composition chimique bien équilibré au point de vue nutritif.

Lors d'un projet de fumure azotée, il importera donc de connaître la teneur du sol considéré en *manganèse assimilable* et lors d'une application de sels manganésés, la richesse de ce sol en principes fertilisants (également *assimilables*). (3).

(1) Cf. MARCHADIE et GOUJON, Ann. Sc. Agron. n° 1, 1925.

(2) « Lorsque certaines plantes sont maintenues sans discontinuité sur le même sol, il arrive souvent que le poids des récoltes diminue très vite avec les années pour devenir parfois presque nul, et cela malgré des additions régulières de fumier et d'engrais chimiques destinées à compenser les pertes d'humus, d'azote, de potassium et de phosphore. En ajoutant au sol une quantité convenable de l'élément catalytique qui fait défaut, on peut se délivrer de la nécessité des rotations culturales. » (G. BERTRAND).

(3) L'importance de l'appréciation des besoins des sols en éléments utiles se révèle ici encore particulièrement significative. Cette appréciation, extrêmement complexe est à la base de toute application au sol de produits destinés à améliorer la production (Cf. J. BORDAS: *L'étude du sol et la notion de fertilité*, Conf. Soc. Agric. de Vaucluse du 21 mars 1933, et L. THÉRON: *La détermination des besoins des sols en principes fertilisants*, « La Science et la Vie », mai 1934).

A l'époque actuelle où les conditions économiques s'affirment particulièrement difficiles, l'agriculteur est susceptible — en certains cas — de trouver dans la fumure manganésée, rationnellement réalisée, un moyen pratique d'assurer une meilleure utilisation de l'azote des engrais et des réserves du sol.



REMARQUES ANNEXES

A ces précieux avantages, pourront éventuellement se joindre ceux ayant trait non seulement à la quantité, mais surtout à la qualité des produits récoltés.

En effet, l'expérience culturale a déjà montré que la fumure manganésée augmente parfois singulièrement le poids total des récoltes, que si elle ne multiplie pas le nombre de fruits, elle en accroît la grosseur et la saveur, et que la matière produite possède en général une valeur marchande plus élevée.

Cependant, à ce dernier point de vue si intéressant, la nécessité de nouvelles recherches se fait sentir nettement.

C'est pourquoi nous venons d'organiser à la station d'Agronomie d'Avignon, une première série d'essais portant sur les cultures maraîchères; par suite d'autres essais seront multipliés pendant assez longtemps avec une variabilité des facteurs de croissance suffisante pour valoriser les résultats initiaux.

Si une semblable expérimentation arrive à confirmer les réels avantages pratiques des applications de sels de manganèse dans les sols qui se montrent déficients en cet élément, nous serons en droit d'escompter — avec l'aide de l'expérience culturale sérieuse et suivie — une juste légitimation de la théorie des engrais catalytiques en général, et une utilisation raisonnée et féconde des sels de manganèse en particulier.

Complétant l'œuvre du physiologiste, le chimiste et l'agronome seront ainsi parvenus à démontrer que cet infiniment petit chimique peut dans des cas suffisamment déterminés par l'analyse et l'expérience, présenter un grand intérêt pratique pour la mise en valeur de nombreux sols et l'obtention de récoltes supérieures en quantité et en qualité.

Il pourra dès lors être admis que le manganèse, qui du sol passe dans le végétal et s'introduit par ce dernier dans la physiologie humaine où son rôle dans les fonctions vitales ne saurait plus être mis en doute, puisse, après l'avis définitif de l'agronomie, occuper dans notre agriculture, base de toute alimentation, la place à laquelle il paraît depuis longtemps avoir droit.

L. T.



SUPPLÉMENT BIBLIOGRAPHIQUE

des principaux ouvrages,
revues et périodiques consultés.

A

- AGULHON H. — Recherches sur la présence et le rôle du bore chez les végétaux. *Thèse sc. Paris* 1910.
- ALTEN F. et WEILAND H. — Untersuchungen über die Kolorimetrische Mangaubestimmung mit Persulfat. *Zeits. f. Pflanz.*, n° 416, p. 193; 1933.
- ANONYME. — Absorption de l'azote par les plantes. *Nature*, 131, 331, 534; 1933.
- ANDRÉ G. — Chimie Agric.; 3^e éd. 1924. — Chimie du sol et Chimie végét. 2 vol.; *Baillière éd., Paris*.
- — Répartition des éléments minéraux et de l'azote chez le végét. étioilé. *C. R. Ac. Sc. CLXVII*, p. 1004; 1918.
- ARMSTRONG. — Les actions diastasiques envisagées au point de vue des théories modernes sur la catalyse. *Ann. Brass. et Dist.*, 21^e sem., .. p. 33; 1922.
- AUBEL et LÉVY. — Etude du potentiel d'oxydo-réduction dans les organismes vivants. *Ann. Physiol.* VII-4. p. 477, 95; 1931.

B

- BARTMANN H. — Le manganèse en agriculture. *Journ. Agric. Prat.*, p. 115; 1910.
- — Le manganèse en champ d'expér. en France. *Idem.*, p. 566.

- BASUMOW V. — Localisation de la stimulation photo-synth. — *Bull. Appl. Bot. of genetics, Leningrad* XXVII. 5, 1932.
- BERTHELOT. — Chimie végét. et Agric. 4 vol. Paris 1899.
- BERTRAND G. — Sur l'intervention du Manganèse dans les oxydations provoquées par la laccase. *C. R. Ac. Sc. t. 124, p. 1032-35; 1897.*
- — Sur l'emploi favorable du Mn comme engrais. *C. R. Ac. Sc., t. 141, p. 1255; 1905.*
- — Sur les engrais catalytiques. *Bericht. Internat. Congress., Berlin, t. 3, p. S39; 1903.*
- et Mme ROSENBLATT M. — Sur les variations de la teneur en Mn des feuilles avec l'âge. *C. R. Ac. Sc. t. CLXXIV, 491-3; 1922.*
- et THOMAS P. — Guide pour les manipulations de Chimie biol. 1 vol., Dunod éd., Paris 1919.
- BILLARD et VAQUIER. — Sur l'absorption des sol. salines par les plantes *C. R. Soc. biol. LVVIII. 1^{er} Sem. p. 1061; 1910.*
- BLAIR A. — Facteurs qui peuvent influencer la teneur en protéines des sojas. *Soil. Sc. I. 171-78; 1916.*
- BORTELS H. — Molybdän as Katalysator bei des biologischen Stickstoffbindung. *Arch. f. Mikrobiologie, I. 333-392; 1931.*
- BOULLANGER E. — L'assimilation de l'azote. *Bull. Inst. Pasteur, t. 6, p.p. 1-49, 97; 1908.*
- BONNET R. — L'évolution de l'azote au cours de la germination. *Bull. Soc. Chim. biol. t. XI, p. 1025; 1929.*
- BORDAS J. — Etudes sur les déterminations de l'azote des engrais. *Ann. Sc. Agron.; 1921.*
- BOUTARIC. — Quelques recherches récentes sur les protéines. *Rev. Génér. Sc. pur. et appl. XLIV, 12; 1933.*
- BOUYOUCOS. — Effects of chem. agents on oxidation in soil formings rocks and minerals. *Soil Sc. Vol. XV., n° 1, p. 19-22. Baltimore, 1923.*
- ROSE (Jagadis Chunder). — Physiologie de la Photo-Synthèse. *Gauthier Villars, Edit., Paris, 1927.*
- BRENCHLEY W. E. — Inorganic plant poisons and stimulants. *University Press., Cambridge, 1914.*
- ERIOUX Ch. — Les cultures expérimentales en pots et leur technique. *Ann. Sc. Agron., n° 3, p. 226; 1928.*

- BURK et LINEWEAVER H. — The influence of calcium and Strontium upon the catalysis of nitrogen fixation by azotobacter. *Biod. Ztr.* 60-7, 359; 1931.

C

- CHAUSSIN J. — Etude du milieu intérieur et des tissus insol. au cours du développ. du blé. Influence d'un engrais minéral complet. *Ann. Sc. Agron.* n° 2, p. 124; 1925.
- CHAVASTELON M. — Le manganèse dans les terres d'Auvergne. *C. R. Acad. Agric. t. IX*, p. 381; 1923.
- CHIBENALL A. — Investigations sur le métabolisme azoté des plantes. .. *Bull. Soc. Chim.* 4^e Sér. n° 1, pp. 33-34; 1923.
- CLARENS J. — Contribution à l'étude des oxydases. *Bull. Soc. Chim.*, t. XXXV, p. 1198; 1924.
- COMBES R. — Absorption et migration de l'azote chez les plantes ligneuses. *Ann. Physiol. et Phys. chim. biol.*, n° 3, p. 333; 1927.
- COOK F. — The role of certain metallic ions as oxydation catalyse. *Journ. of gener. Physiol.*, n° 10, 289; 1908.
- COOL M. et WELDON D. — Influence du type de sol et des engrais sur la composition des sucres végétaux. *Ann. Sc. Agron.*, n° 6. (document) p. 641; 1928.
- CURT D^r. — De l'influence des impuretés sur la valeur culturale des engrais azotés. *Ann. Sc. Agron.*, n° 2. (document) p. 219; 1929.

D

- DAVIDSON J. — Absorption of Mn by wheat seedlings; 2^e Congrès Intern. *Sc. du sol, Leningrad-Moscou*, 1930, Vol. II, p. 84.
- DEATRICK E. — The effect. of Mn compounds in soil and plants. *Cornell Univers. Agric. exper. St.; Mem.* 19 Ithaca, New-York, Febr. 1919.
- DEMOLON A. — Recherches physico-chimiques sur la terre à briques envisagée comme milieu naturel. *Thèse Doct. sc. Paris*, 1926. Blanchard, édit., Paris.

- — Sur l'utilisation des engrais azotés minéraux par les récoltes. *C. R. Ac. Agric.*, n° 13, *Avr.* 1929.
- — La dynamique du sol. 1 vol., *Dunod, édit. Paris*, 1932.
- et BROUET G. — Les éléments accessoires des scories Thomas. *Journ. Agric. Prat.* V. 138, p. 22. *Janv.* 1914.
- et LEROUX D. — Guide pour l'étude expérimentale du sol. 1 vol. *Gauthier Villars, édit. Paris*, 1932.
- DEMOUSSY. — Absorption par les plantes de qq. sels solubles. *Thèse Doct. Sc., Paris*, 1899.
- DIMITRIE A. Olaru. — Rôle du manganèse en agriculture. *Thèse Doct. Sc., Paris*, 1920.
- DUCLAUX J. — La Chimie de la matière vivante. 1 vol. *Alcan, Edit. Paris*, 1920.
- DUMONT J. — Sur le chimisme végétal. Phénomènes de migration. *Ann. E. N. A. Grignon*, t. 9, pp. 62-78; 1924-25.
- DUPONT M. A. — Recherches sur les variations de la teneur en azote et en gluten des blés. *Ann. Sc. Agron.*, n° 4, p. 256, 1925.

E

- EFFRONT J. — Les catalyseurs biochimiques. 1 vol., *Dunod, Edit. Paris*, 1914.

F

- FOSSE R. — Le mécanisme de la formation artificielle de l'urée par oxydation et la synthèse des principes naturels chez les végétaux. *C. R. Ac. Sc. t. CLXVIII*, pp. 320-908-1164; 1919.
- FROMAGEOT G. et MAYER A. — Les oxydations en milieu hétérogène et leur intérêt agronomique. *Ann. Sc. Agron.*, n° 2, p. 118; 1926.

G

GARNIER. — Le rôle biologique du manganèse. *Thèse doct. Sc. Paris*, 1928.
 GAROLA J. (Mlle). — Influence des engrais sur la nutrition des végétaux.

Ann. Sc. Agron., n° 4, p. 480; 1934.

GERICKE W. — Certain relations between the protein content of wheat and the length of the growing period of the Headbearing stalks.
Soil Sc. XIII, 135-138; 1922.

— — Why applications of Nitrogen to Land may Cause either Increase or Decrease in the Protein Content of Wheat. *Jal. of Agr. Research*, Vol. 35, n° 2, 133-135; 1927.

GILBERT et HARDEN. — The current mineral nutrient content of the Plant Solution as a possible Means of Chemical Control of optimum Fertilization. *Jal. of Agric. Research*, Vol. 35, n° 2, p. 185; 1927.

GRANDEAU. — Chimie et physiol. appliq. à l'Agricult. *Paris*, 1879.

GREAVES J., CARTER E. et GOLDTHORPE H. — Influence of salts on the nitric-nitrogen accumulation in the soil. *Jal. of Agric. Research* V. 15, n° 4, p. 107; 1919.

GREEN H. — Investigations into the nitrogen metabolism of Soil. *Centralbl. f. Bakter.* 2 Abt. 41, n° 18-23. (Refer. D. Olaru: Rôle du Manganèse en Agriculture.) 1914.

GREGORIO (DE) ROCASOLANO A. — Aportacion Bioquímica al Problema Agrícola del Nitrogeno. 1 vol. *Gambon Imprim.-Edit. Saragosse*, 1933.

— Le manganèse comme catalyseur des réactions biochimiques. *Rev. del Real Acad. de Siencias de Madrid*, t. 14, N° 10, p. 681, Avril 1916.

H

HARGUE Mc. J. — Le rôle du manganèse dans les plantes. *Ann. Chem. ..Soc. Journ.* 44 pp. 1592-98; 1922.

HASELHOFF EL., HAUN F. et ELBERT W. — Versuche über die Nährstoffaufnahme der Pflanzen. *Land. Vers. Stat.* III-II-62; 1931.

HENRI V. — Lois générales de l'action des diastases. 1 vol. *Hermann, Edit. Paris*, 1903.

- HERZNER A. — Beiträge zur physikalischen Chemie unserer Kulturböden. Absorptions und reoxpotential. — *Zeits. f. Pflanz. A.* 18, 249; 1930.
- HILDITCH T. — Les procédés catalytiques en Chimie appliquée. (Trad. par Mlle MIDORGE E.) 1 vol. Dunod. Ed. Paris, 1931.
- HISSINK D. — Rapport entre sol, engrais et composition chimique des plantes. — *Chem. Weebl.*, 27, 529, 533; 1930.

J

- JAVILLIER. — Recherches sur la présence et le rôle du zinc chez les plantes. *Thèse Doct. Sc. Paris*, 1908.
- SULLIVAN (Miss) et IMAS. — Sur les rapports entre la richesse en azote du grain de blé et sa teneur en divers éléments chimiques. (P. Mg. K. Ca. Mn.) *C. R. Ac. Agric.*, t. 13, n° 3; 1927.
- JODIDI et MOULTON. — Détermination de la distribution de l'azote dans les protéines par la méthode d'Hausmann. *Jal. of the Amer. chem. Soc.*, t. XLI, p. 1526; 1919.

K

- KAYSER E. — Microbiologie agricole, 2^e édit. Baillière, édit., Paris, 1914.
- KELLEY W. — La décomposition bio-chimique des subst. azotées dans les sols. *Hawai Agric. Exp. St. Bull.* 39, p. 25, Washington, Août 1915.
- KNOWLES F. et WATKIN J. — The assimilation and translocation of plant nutrien in wheat during growth. *Jal. of Agr. Sc.* XXI, 4, 612-637; 1931.

L

- LAGATU H. et MAUME L. — Absorption comparée de différ. engrais azotés par une vigne au cours de la même année. *Diagnostic foliaire. Rapp. I. R. A.*, p. 204; 1929 (cf. *C. R. Ac. Sc.*, t. 79, p. 392; 1924).
- — — — — Contrôle chimique du mode d'aliment de la vigne par les engrais. *C. R. Ac. Agric.* 13, 1018; 1927.

- — — et Mlle CROS L. — Etude des variations de la teneur en azote en des points très localisés du feuillage de la vigne. *C. R. Ac. Sc.* 194, 8, 679, 80; 1932.
- LEBRUN et RADET. — Les réserves azotées du sol et leur mobilisation dans les terres calcaires de Champagne. *Ann. Sc. Agron.*, n° 4, p. 478; 1933.
- LECRECQ M. — Contribution à l'étude de l'action des engrais sur la composition minérale des blés. *C. R. Ac. Agric.*, t. XX, n° 15, 1934.
- LEMOIGNE M. — Minéralisation des composés azotés du sol. *Bull. Soc. Chim. Biol.*, XIV, 8, p. 1113; 1932.
- LEROUX D. — Sur la composition de la matière organique des sols agricoles. *Ann. Agron.*, n° 1, p. 26, et n°2, p. 159; 1934.
- LECLERCQ et SABLON. — Traité de Physiologie végét. et Agric. *Baillière*, Edit., Paris, 1911.
- LIPPMANN, BLAIR et PRINCE. — Expériences culturales sur l'assimilation des engrais azotés. *Ann. Sc. Agron.* (Document) p. 477; 1928.

M

- MAZÉ P. et MAZÉ fils et Mme ANNIONNAZ R. — Recherches sur la fonction d'absorption chez les racines du maïs. *C. R. Sté Biol.*, CXII, 9, 852-57; 1933.
- MCKIE P. — Métabolisme de l'azote chez les plantules de lupin. *The Biochem. J.*, vol. 25, n° 6, Londres 1932.
- MICHEELS H. — Sur les stimulants de la nutrition chez les plantes. *Bull. Soc. Roy. Belge*. XLII, Part. 2, 233-239; 1904-05.
- MITSCHERLICH. — Utilisation de la méthode des essais en vases pour la détermination de l'azote des sols. *Dtsch. Landw. Rund.* vol. 3, n° 4. Avr. 1929.
- MOLLIARD M. — Nutrition de la plante. T. 1-2-3. *Encyclop. Scient. Doin*, Edit., Paris, 1923.
- MONTEMARTINI L. — L'azione eccitante del Solf. di manganese. *Staz. Sper. Agr. Ital. Org. Uff.* 44, p. 564; 1911.

N

- NELLER J. — Influence de la croissance des plantes sur les processus d'oxydation dans le sol. *Soil Sc.* XIII, p. 139; 1922.
- NOTTIN P. — Etude agrologique du manganèse. *Ann. Sc. Agron.*, p. 1, 1913 et p. 228, 1920.

P

- PAGNOUL. — Assimilation de l'azote par les plantes. *Ann. Sc. Agron.* XXII, p. 485; 1896.
- PINEY M. — Variations qualitatives et quantitatives des subst. azotées chez une pl. ligneuse au début de la végét. *Rev. Génér. Bot.* t. 41, .. n° 482, Févr. 1929.
- POLONOWSKY M. — La Synthèse organique dans le monde végétal. Revue des différ. théories et leur discussion. *Bull. Soc. Chim. Biol.*, t. VII, 527, 589; 1925.
- POPE U. — Activité catalytique et respiration dans la feuille de l'orge en croissance. *Jal. of Agric. Res.* 46-1, 35-40; 1933.
- POUGET I. et CHOUGHAK D. — Contribution à l'étude de la nutrition azotée chez les végétaux. *Ann. Sc. Agron.*, t. I, p. 281; 1913.
- PREGI F. — La micro-analyse organique quantit. (Traduct. Walter G.) *Presses Univers. Paris*, 1923.

R

- ROUSSET H. — Les engrais « manganés ». *Ann. Sc. Agron.*, t. 2, p. 81; 1909.
- RUSSELL Edw. J. — Conditions du sol et croissance des plantes. 1 vol., Flammarion, Paris, 4^e éd.
- ROBINSON W., JARDINER R. et HOLMES R. — Le manganèse soluble eau, .. *Bull. rend. Agric. Rome*, Janvier 1920,

S

- SABININ. — Principes et méthodiques de l'étude des substances contenues dans la sève des plantes mutilées. *Référ. Ann. Sc. Agron.*, n° 4 (document.) 1930.
- SABATIER. — La catalyse en chimie organique, 1 vol. 2^e éd. Béranger, Paris, 1920.
- SCHREINER G. et DAWSON P. — Déficience de Mn dans le sol et les engrais. *Industr. and Engineering chem.*, Vol. 19, n° 3, p. 400, 1927.
- SCHULZ. — Sur la transformation des mat. albumin. dans l'organisme végétal. *Ann. Sc. Agron.* VIII, p. 312; 1882.
- SCHULZ et BARBIERI. — Sur la détermination des mat. albumin. dans les plantes. *Ann. Agron.*, VII, 422; 1881.
- SESSIONS A. et SHIVE J. — The effect of culture Solution on growth and nitrogen fractions of oat plants at differ. stages of their development *Soil Sc.*, XXX, 5, 355-374; 1933.
- SMITH I. et BROWN P. — Further Studies on Soil Respiration. *Jal. of Amer. Sty of Agron.*, t. 24, p. 577; 1932.
- SMOLIK. — Contribution au chimisme du manganèse dans le sol. *Bull. de l'Acad. Tchecoslovaque d'Agric. « Vestnik »* IX, 2-3, p. 134; 1933.
- SÖRENSEN. — Etudes enzymatiques. *C. R. du Labor. de Carlsberg*. 7^e, vol. I, 1907.
- SORNAY (DE) M. — Solubilité du manganèse dans les sols. *Bull. Assoc. ..Chimistes Sucrerie et dist.*, septembre. 1912.
- STHAL A. et SHIVE J. — Absorption de l'azote des solutions de culture (Sarrasin). *Soil Sc.*, t. XXXV, n° 6, p. 469, Baltimore, 1933.
- STOKLASA J. — La synthèse de la mat. vivant dans les pl. cultivées. Théories et directives modernes. *Rev. Intern. Agric.*, 1^{re} part., n° 2, p. 49, Févr. 1930.
- SULLIVAN J. et HORAT L. — Détermination de petites quantités d'azote dans les mat. végét. *Jal. of the Assoc. of Offic. Agr. Chem. Washington*. Vol. XII, n° 1, Févr. 1929.

T

- TAGGERT A. — Influence de certains sels fertilisants sur le développ. et la teneur en azote de qq. légumes. *Soil Sc.* XI, p. 435-456; 1921.
- TERROINE. — Le métabolisme de l'azote. 1 vol. *Presses Univers. France*, .. *Edit.*, 1933.
- THOMAS W. — Métabolisme de l'azote chez *Pyrus M.* Influence de la tempér. de dessic. sur les const. azotés sol. eau et séparat. des protéines sol. eau des const. non protéiniques. *Plant. Phys.*, 11-55-70; 1927.
- TRILLAT A. — Sur le rôle d'oxydases que peuvent jouer les sels manganéux en présence d'un colloïde. *C. R. Ac. Sc.* 11 janv. et 1^{er} Févr. 1904.

V

- VERNADSKY. — La Géochimie; *Alcan, Edit.*, Paris, 1924.
- VINET E. et LEMESLE M. — Sur le contrôle de l'action des engrais par le diagnostic foliaire et l'analyse des bois aoûtés. *C. R. Ac. Agric.*, n° 15; Mai 1930.

W

- WINOGRADSKY S. — Sur l'étude de l'anaérobiose dans la terre arable. .. *C. R. Ac. Sc.*, t. CLXXIX, p. 861; 1924.
- WOLFF M. et Mlle RONCHELMANN. — Phénomènes d'oxydat. et de réduct. portant sur les chromogènes des végétaux. *C. R. Ac. Sc.*, Mai 1915.
- WOOLFF J. — Sur quelques sels minéraux qui jouent le rôle de peroxydases. *C. R. Ac. Sc.*, t. CXLVI, pp. 242, 781, 1217; 1908.
- WURMSER R. — Oxydations et réductions. 1 vol., *Pressc Univers. Paris*, 1930.

Z

- ZLATAROFF AS. — Les Stimulants chimiques de la croissance chez les plantes, *Bull. Soc. Chim. biol.*, n° 10, p. 1198; 1926.

DEUXIEME THESE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

LE MANGANÈSE

Propriétés physicochimiques et applications
à la biologie.

Vu et approuvé :

Dijon, le 19 février 1935.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

P. BUGNON.

Vu et permis d'imprimer :

Dijon, le 19 février 1935.

Le Recteur de l'Académie :

J. E. SPEULÉ.

IMP. LOUIS JEAN — GAP
PÉRIODIQUES — PUBLICATIONS
BUREAU : PARIS, GRENOBLE, CASABLANCA

